НАУЧНЫЕ ТРУДЫ ВАСХНИЛ

Н. Г. МИНАШИНА

# МЕЛИОРАЦИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

ВСЕСОЮЗНАЯ ОРДЕНА ЛЕНИНА АКАДЕМИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК
ИМЕНИ В. И. ЛЕНИНА
ПОЧВЕННЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ В. В. ДОКУЧАЕВА

*Н. Г. МИНАШИНА*

# *МЕЛИОРАЦИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ*

МОСКВА «КОЛОС» 1978

УДК 631.4 : 631.6

Ответственный редактор
член-корр. ВАСХНИЛ, профессор *В. В. Егоров*

В книге рассмотрены почвенные аспекты мелиорации засоленных почв, дана характеристика почв, орошаемых и предназначенных под орошение по проектам развития в зоне крупнейших ирригационных систем Средней Азии и Закавказья. Рассмотрены мелиоративные процессы, которые развиваются в почвах при орошении. Особое внимание уделяется трудномелиорируемым почвам (гипсоносные, солончаки, такыры, серо-бурые), которые в прошлом не осваивались в широком масштабе, а ныне являются ближайшим резервом расширения орошаемых площадей. Рассмотрены песчаные почвы как наиболее перспективные для орошения минерализованными дренажными водами.

Даны новые подходы к расчетам солевого режима при промывках в целях удаления солей.

М $\frac{40305—297}{035(01)—78}$ 273—78

© Издательство «Колос», 1978

# ПРЕДИСЛОВИЕ

Проблема борьбы с засолением, то обостряясь, то несколько ослабевая, была актуальной в течение всей истории развития орошаемого земледелия.

В настоящее время приходится затрачивать большие материальные средства для рассоления первично засоленных почв и предупреждения вторичного засоления. Несмотря на такие затраты, часть орошенной площади продолжает терять плодородие почв из-за накопления токсичных солей, так как меры по борьбе с засолением оказываются недостаточными.

Одна из причин неразрешенности проблемы борьбы с засолением заключается в следующем. На каждом новом историческом этапе под орошение вовлекаются все большие площади с новыми типами почв и земель, изменяются технология орошения и возделывания растений, состав сельскохозяйственных культур, система гидротехнических сооружений, регулирование распределения оросительной воды по территории и т. д. В миграционный цикл солевого оборота вовлекаются все новые запасы солей, ранее покоящиеся на неорошаемых землях. Поступающие с речным и грунтовым потоком соли также непрерывно накапливаются в местах их расхода на испарение и транспирацию.

Таким образом, возрастающей технической мощи орошаемого земледелия противостоит все более широкий захват солей и вовлечение их в сферу миграции и аккумуляции как по площади и мощности почвенно-грунтовой толщи, так и по глубине воздействия на природные системы.

Понятие «засоленные почвы» не остается неизменным. По мере накопления опыта выделяются все новые типы и подразделения засоленных почв. Почвы, засоленные белыми (сульфат и хлорид натрия) и черными (хлорид кальция, магния, нитраты, сода) солями, различали уже в III—II тысячелетии до н. э. (как это стало известно из расшифровки записей на глиняных табличках, обнаруженных археологами в Месопотамской долине). Со-

лонцы, солончаки, шоровые (соровые), гажевые, арзыковые, шоховые почвы — все это названия засоленных почв, которые вошли в научную литературу.

Современный период в истории борьбы с засолением относится к числу переломных, революционных. За последние 20 лет выполнен огромный объем мелиоративных работ и в зоне традиционного развитого орошаемого земледелия (Средняя Азия, Закавказье), и в зоне недостаточного увлажнения и ныне развивающегося нового типа орошаемого земледелия, требующего большей динамичности от искусственного орошения в различных природных условиях (Поволжье, Северный Кавказ, юг Украины и другие районы). Накоплен опыт составления проектов орошения на базе широкой мелиорации почв, свойства которых неблагоприятны для сельскохозяйственных культур. Разрабатываются и широко внедряются в производство индустриальные методы ирригационно-мелиоративного строительства и использования орошаемых земель.

Главное внимание в книге сосредоточено на землях зоны старого орошения полупустынь и пустынь Средней Азии и в меньшей мере Закавказья с постановкой отдельных вопросов, возникающих с развитием орошения в сухостепной и степной зоне нашей страны. При описании почв меньше уделено внимания зональным незасоленным почвам, не требующим специальных мелиораций, и больше — почвам, требующим специальных мелиораций и ранее мало освещенным в литературе, таким, как гипсоносные, шоховые, солончаковые и др.

*В. Егоров*

# ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

К актуально засоленным относятся почвы, содержащие соли в количестве, при котором продуктивность земель при обычной агротехнике снижается на 25% и более. Освоение этих почв требует значительных капиталовложений в ирригационное строительство и на коренное улучшение свойств почв, а также затрат на эксплуатацию земель для поддержания в рабочем состоянии сооружений и применения обработок, назначение которых не допустить повторного возникновения отрицательных свойств почв.

Среди солей, накопление которых в почве отрицательно влияет на продуктивность земель, известны следующие: хлориды ($NaCl$, $KCl$, $MgCl_2$, $CaCl_2$), нитраты ($KNO_3$, $NaNO_3$, $Ca(NO_3)_2$, $Mg(NO_3)_2$), сульфаты ($Na_2SO_4$, $MgSO_4$, $CaSO_4$), карбонаты ($Na_2CO_3$, $NaHCO_3$, $MgCO_3$, $CaCO_3$). Наиболее растворимые соли (хлориды, нитраты) в почвах почти всегда находятся в растворах, периодически выкристаллизовываясь в корочке на поверхности солончаков при их подсыхании. Менее растворимые соли (сульфаты кальция, натрия, карбонаты кальция и магния) представлены большим разнообразием минералов в твердой фазе с различной растворимостью.

В таблице 1 показана наиболее вероятная растворимость солей в воде при температуре от 0 до 50°С. Однако в почвенно-грунтовых растворах растворимость может существенно возрастать при наличии метастабильных (неравновесных для данных условий) минералов солей или уменьшаться при наличии в растворе других солей, содержащих одноименные ионы. Так, в растворах, насыщенных хлоридом кальция, растворимость хлорида натрия снижается до 4 г/л, а сульфата кальция до 0,4 г/л. Наоборот, растворимость сульфата кальция в растворах, насыщенных хлоридом натрия, возрастает в 4—5 раз. Концентрация солей натрия и магния редко достигает высоких степеней насыщения;

карбонаты кальция и магния и сульфаты кальция в почве находятся в основном в твердой фазе. Соли натрия (сульфаты и карбонаты) при высоком их содержании периодически выпадают в твердую фазу при снижении температуры и подсыхании почвы, образуя двойные и тройные соли с кальцием и магнием. Все другие соли в обычных почвенных условиях почти всегда находятся в растворе. Исключения могут представлять сухие и реликтовые солончаки.

Таблица 1. **Растворимость солей в воде, г/л**

| Соль | При температуре, °С | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| $Ca(NO_3)_2$ | 756 | 816 | 879 | 958 | 1085 | — |
| $NaNO_3$ | 570 | 607 | 646 | 686 | 724 | 762 |
| $Mg(NO_3)_2$ | 547 | 566 | 585 | 608 | 630 | 657 |
| $CaCl_2$ | 513 | — | 725 | 797 | — | — |
| $MgCl_2$ | 460 | 467 | 473 | 480 | 491 | 502 |
| NaCl | 318 | 317 | 317 | 317 | 318 | 319 |
| $Na_2SO_4$ | 45 | 90 | 185 | 373 | 430 | 415 |
| $MgSO_4$ | 208 | — | 355 | — | 419 | 466 |
| $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ | 1,76 | 1,93 | 2,06 | 2,12 | 2,10 | 2,07 |
| $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ | — | 9,9 | 7,8 | 6,6 | 5,5 | 4,6 |
| $NaHCO_3$ | 68 | 80 | 93 | 107 | 121 | 137 |
| $Na_2CO_3$ | 70 | 122 | 213 | 371 | 444 | 429 |

Растворимость карбонатов очень низкая: $CaCO_3$ — 0,014—0,015 г/л; $MgCO_3$ — 0,3—1,0 г/л, а при искусственном насыщении углекислотой до 14—18 атм растворимость значительно повышается: $Ca(HCO_3)_2$ — 4,3 г/л, $Mg(HCO_3)_2$ — 8,26 г/л.

**Условия распространения засоленных почв и происхождение солей.** Проблема первичного образования и миграции солей в земной коре, океанических водах и осадках в общих чертах освещена в работах В. А. Ковды (1946), В. А. Ковды и В. В. Егорова (1958). В данной работе круг этих вопросов сокращен до имеющих более непосредственное отношение к решению практических задач борьбы с засолением почв.

Источником солей для современных почв может быть материнская или подстилающая порода и грунтовые воды данной территории. Соли могут поступать также с поверхностными (временными потоками, речными, морскими, промышленными) и грунтовыми водами, а также с током воздуха, захватывающего соли с поверхно-

стей океанов и морей, солончаковых пустынь. Источником солей могут быть и продукты выброса извергающихся вулканов и бытовых и промышленных предприятий. Выяснение источника солей имеет важное значение при разработке мер борьбы с засолением почв.

По развитию современных процессов почвы могут быть разделены на группы: 1) засоленные, 2) засоляющиеся, 3) рассоляющиеся. Распространение почв первых двух групп приурочено к условиям, благоприятствующим поступлению и накоплению солей в почвенном профиле. Для рассоляющихся почв благоприятные условия соленакопления относятся к прошлому периоду.

Определяющими в условиях формирования засоления почв являются несколько факторов, и прежде всего сухой климат, для которого характерны высокий потенциал расхода влаги на испарение и низкая обеспеченность атмосферными осадками, при этом имеет значение и абсолютное количество осадков, и их распределение во времени, а также режим выпадения. Засоленные почвы наиболее широко распространены в зоне сухих степей, полупустынь и пустынь умеренно теплого и жаркого поясов земного шара. В этих зонах встречаются и гидроморфные и автоморфные засоленные почвы. Отдельными очагами, чаще среди гидроморфных, засоленные почвы встречаются практически во всех зонах. Сухой и теплый климат создает потенциал накопления и сохранения запасов солей на той или иной глубине почвенного профиля. Для реализации этого потенциала требуются дополнительные условия, а также источники солей.

Как уже отмечено, источником солей могут быть материнские породы или грунтовые воды. На территории аридной зоны СССР среди материнских пород широко распространены соленосные палеогеновые, неогеновые и нижнечетвертичные отложения. В силу тектонических процессов соленосные отложения местами подняты на высокие отметки, венчая брахиантиклинальные поднятия, образуя цепи предгорных и низкогорных всхолмлений и возвышаясь в виде останцовых плато среди более молодых эолово-аллювиальных равнин. Такие отложения, чаще суглинисто-глинистого, а иногда каменисто-глинистого состава, служат материнской породой почв на месте, а разрушаясь в процессе воздействия водно-эрозионных и дефляционных процессов, они переотла-

гаются по склону и засоляют делювиально-пролювиальные шлейфы подгорных равнин, грунтовые и речные воды нижерасположенных территорий.

Местами источником солей служат юрские и меловые соляные купола, соли из которых растворяются и выносятся напорными подземными водами, приближающимися к поверхности по трещинам разломов и окнам более проницаемых пород в земной коре. Почвы на древних соленосных породах, в общем широко распространенные в области пустынь и полупустынь, в прошлом практически не осваивались под орошение. Но в последние годы все большие их площади попадают в контуры орошаемых массивов, в связи с чем они заслуживают более детального изучения.

На большей части пространств современных и новейших равнин засоленные почвы формируются на исходно не засоленных или очень мало засоленных материнских породах, но соли накапливаются в профиле в процессе развития самих почв. В этих условиях соли поступают извне или же с больших глубин с током подземных и грунтовых вод. Для проявления таких процессов необходимы специфические условия, определяющиеся геоморфолого-литологическим устройством территории. Очаги засоленных почв обычно приурочены к местам древних или современных тектонических и тектонически-деструктивных понижений, которые служат местом разгрузки вод и солей геохимических потоков. Это места образования аллювиально-дельтовых равнин и озерно-шоровых котловин.

На протяжении конца третичного и первой половины четвертичного периода произошла перестройка территории. В прошлом обширные равнинные области аккумуляций преобразованы в цепи структурных поднятий и прогибов с образованием разломов, котловин. Последние во многих случаях усложнены ветровой и водной деструкцией и послужили ложем современных речных и озерно-дельтовых отложений и образования равнин (Шорсай, Сарыкамышская впадина и др.).

Таким образом, рассматривая вопрос о происхождении засоленных почв, приходится анализировать комплекс природных условий с учетом истории их развития, возможностей колебаний климата, перестройки рельефа, изменения гидрогеологических условий и с учетом источников солевых аккумуляций.

В истории науки были острые дискуссии по этому вопросу. Главные разногласия касались проблемы современного и вторичного засоления почв, т. е. вопросов, которые имеют непосредственное отношение к решению задач практических мелиораций. В этой связи можно вспомнить дискуссии В. А. Ковды и Б. Ф. Федорова (1950) о так называемой неизбежности засоления орошаемых почв и обязательности строительства дренажных систем на орошаемых землях. В наше время с позиций 25-летнего накопления новых данных можно видеть, что сущность этих разногласий состояла в недостаточной изученности вопросов происхождения засоленных почв. Б. Ф. Федоров засоление орошаемых почв рассматривал как результат перераспределения древних аккумуляций солей, выноса их в верхние горизонты почвы восходящими токами грунтовых вод. В. А. Ковда проблему соленакопления рассматривал в более широком плане поступления солей в почву и аккумуляции с грунтовыми и оросительными (поверхностными) водами, переоценивая при этом роль современных процессов солеобразования настолько, что древние очаги соленакоплений оказались вне анализа или представлялись абстрактно как современные солончаковые почвы.

Теперь можно уже с большим обоснованием выделить слабые и сильные стороны разных направлений; нельзя не отметить, что они не были безосновательны и опирались на факты, но недостаточно изученные и односторонне истолкованные. Обе стороны внесли существенный вклад в науку мелиорации засоленных почв.

**Условия аккумуляции солей.** Климато-географические условия. Среди широкого круга специалистов сложилось представление о практически функциональной зависимости распространения засоленных почв от аридности климата. Однако очаговый характер распространения засоленных почв в аридной зоне и наличие засоленных почв за ее пределами, например в районах с повышенной ролью криогенных факторов в почвообразовательных и солевых процессах, заставляют дифференцировать эту зависимость и ставить ее в связь с разными, составляющими климат факторами, в том числе с режимом осадков и температур почв, не забывая при этом, что климат это только условие сохранения и аккумуляции солей,

поступивших или поступающих в почву тем или иным путем. Во взглядах почвоведов глубоко укоренилось представление о промывном и непромывном типах водного режима, развитое трудами гидрологов (Высоцкий, Роде).

При этом в первом приближении о типе режима почв судят по соотношению сумм осадков и расхода воды на испарение (обычно с водной поверхности). Если испаряемость выше суммы осадков, то наиболее вероятен для почв непромывной режим, и наоборот.

Фактически, быть промывному режиму или не быть,— это зависит не только от суммы осадков и испаряемости, но и от глубины промачивания почв атмосферной или стоковой влагой. Последняя зависит от ряда причин: режима осадков, их перераспределения по поверхности, режима поступления влаги в почву, скоростей фильтрации гравитационных вод и возвратного движения капиллярной влаги при расходе ее на транспирацию и испарение и т. д. В общей форме разделение почв на типы по режимам увлажнения можно было бы определить по формуле в расчете за сезон, год или циклы лет:

$$P = \frac{W_i + O \pm C - I}{V},$$

где $P$ — глубина промачивания почв движущейся влагой сверху, см; $W_i$ — содержание влаги в почве в начале расчетного периода (в слое 100 см и 200 см в зависимости от количества осадков), мм; $O$ — количество воды, поступившее на поверхность почвы в виде дождя или накопленное в виде другого вида осадка, мм; $C$ — количество воды, поступившее с поверхности стоком или израсходованное на сток, мм; $I$ —количество воды, израсходованное на испарение в атмосферу, мм; $V$ — содержание воды при насыщении почвы до наименьшей влагоемкости (в среднем для слоя почвы 1 см, для легких почв — 2, средних — 3, тяжелых — 3,5 мм), мм.

Тип режима увлажнения можно назвать промывным (за сезон, год или за многолетний цикл), если почва промачивается глубже 200 см и часть гравитационной влаги стекает за пределы профиля; ограниченно-промывным, если глубина увлажнения составляет 60—200 см, непромывным при глубине увлажнения менее 60 см.

Эту формулу можно использовать для расчета глубины промачивания почв при орошении и для расчета глубины промачивания в короткий период наиболее интенсивного поступления влаги в почву (таяния снега, выпадения отдельных наиболее обильных дождей). При использовании формулы предполагается, что проницаемость почв обеспечивает проникновение воды вглубь практически беспрепятственно. Если в пределах почвенного профиля имеются малопроницаемые прослойки или горизонты, может возникать внутрипочвенный сток при наличии уклонов поверхности или образовываться верховодка. Гравитационная вода верховодки может снова подняться по капиллярам к поверхности почвы и израсходоваться на испарение и транспирацию. В этом случае глубина промачивания будет ограничена независимо от климатических условий.

В качестве непроницаемых или малопроницаемых слоев могут быть уплотненные глинистые, мерзлотные и водонасыщенные слои тяжелого механического состава, шоховые (повышенно-карбонатные), гипсоносные и др. Гравитационная вода, фильтруясь через почвы, выщелачивает соли. При промывном режиме орошения формируются незасоленные почвы, при ограниченно-промывном — солончаковатые, непромывном — солончаковые. В гидрологии почв выделяется еще так называемый выпотной режим увлажнения, который наблюдается в особых условиях развития почв, увлажняемых снизу от грунтовых вод. Если почва и верхний слой грунтовых вод периодически не опресняются путем промывок сверху пресными водами, то формируются засоленные почвы (непромывного режима), если опресняются и грунтовые воды имеют отток, почвы остаются незасоленными (промывной режим). Повышенно-грунтовоувлажненные почвы промывного и непромывного режима увлажнения широко распространены на территориях с близким к поверхности уровнем грунтовых вод в долинах, дельтах, на орошаемых массивах.

Таким образом, и промывной, и непромывной режимы увлажнения разделяются на два подтипа каждый. Первый — увлажнение почв осуществляется преимущественно (постоянно или периодически) нисходящим током влаги, профильтровавшиеся через почву воды уходят безвозвратно в подпочвенные слои (при глубоком уровне грунтовых вод) или попадают в грунтовые воды

и оттекают за пределы почвы, не оказывая существенного возвратного влияния. При этом формируются пресные грунтовые воды. Второй подтип — почва не промывается из-за недостаточного поступления воды с поверхности почвы вследствие ограниченности величин осадков или норм орошения или подпора непроницаемыми горизонтами или грунтовыми водами, не имеющими оттока. При этом основной или довлеющей статьей расхода вод является испарение и транспирация (иногда поверхностный сток) вод, что ведет к соленакоплению в водах и почвах.

Промывной водный режим, так же как ограниченно-промывной и непромывной, может быть при любом уровне грунтовых вод во всех рядах почв по увлажнению: автоморфных, гидроморфных и полугидроморфных.

Таким образом, на засоление влияют все природные факторы, они тесно переплетаются между собой и зависят друг от друга. Если сухость климата служит одной из предпосылок соленакопления (или консервации солей) при соответствующе складывающемся режиме увлажнения почв, то геоморфолого-литологические и гидрогеологические условия являются вторым и часто определяющим фактором соленакопления, так как именно они определяют тип водного режима в той мере, в какой он зависит от гидроморфности почв.

Существует много классификаций, позволяющих разделить геоморфолого-литологические и гидрогеологические условия на определенные таксономические категории. Имеются генетические, формально морфологические и физические подходы. В почвоведении чаще пользуются генетическим, который основан на синтезе всех особенностей образования естественноисторических объектов, к каковым относятся отдельные участки суши сходного происхождения, состава, устройства и режима развития. В основе такого разделения лежит анализ морфоструктурного и геологического устройства, которые определяют направление общего потока веществ (в том числе воды, солей и твердых частиц). В порядке нарастающей вероятности появления засоленных почв и усложнения мер борьбы с засолением можно различать следующие природные образования.

1. Современные аллювиальные равнины и дельты.

2. Аллювиальные равнины средне- и раннечетвертичного периодов.

3. Всхолмленные древние равнины с чехлом переве-янных аллювиальных отложений.

4. Подгорные равнины, верхние и средние их аллювиально-пролювиальные части: а) конуса выносов; б) межконусные пространства (поднятые участки древних равнин).

5. Шлейфы конусов выноса горных рек: а) современные; б) древние.

6. Шлейфы подгорных равнин: а) современные; б) древние.

7. Всхолмленные древние равнины с чехлом переве-янных осадочных отложений морского и другого происхождения.

8. Среднечетвертичные тектонические поднятия: а) нерасчлененные плато; б) расчлененные поверхности.

9. Приморские равнины.

10. Тектонические и деструктивные понижения.

Каждой из перечисленных областей присущи свои особенности геоморфолого-литологического строения суши и гидролого-гидрогеологических условий развития почвенного покрова. В развитии засоленных почв решающее значение имеют наличие источников солей в виде древних аккумуляций, погребенных в толще отложений или приподнятых тектоническими процессами, которые могут подпитывать почвы с током напорных вод или переноситься с делювиальными токами. Накопление солей часто определяется условиями обмена и скоростью движения почвенно-грунтовых вод.

Гидрологические условия находятся в прямой зависимости от климатических и от условий, определивших степень расчлененности поверхности под влиянием тектонических и деструктивных процессов. Все это влияет и на гидрохимический режим поверхностного стока наряду с общегеохимическими условиями, определяющими солевое питание вод. Наличие водных источников на поверхности суши и динамика движения вод имеют многостороннее значение для формирования солевого режима почв. Прежде всего поверхностные воды (морские, озерные, речные) сами могут служить источником или приемником солей в зависимости от форм связей их с почвенными водами. Кроме того, они могут быть транспортирующим средством, которое, собирая грунтовые, дренажные и возвратные воды, выносит соли за

пределы данного природного района или ирригационного объекта. Гидрологические средства по этим причинам имеют большое значение для условий формирования засоленных почв и должны приниматься в расчет при разработке планов мелиораций почв. В этом отношении в прошлом были и успехи, и ошибки.

Человек давно активно воздействует на гидрологические условия, задерживая сток для орошения, обводнения или осушая земли, строя каналы, коллекторы, дамбы, водохранилища, меняя направление стоков рек и т. д. Осушение осуществляется не только на участках суши с избыточной влагой, но и на землях, покрытых водами, озерными и морскими (польдерное земледелие в Голландии).

Большая часть зоны орошаемого земледелия в СССР расположена в Арало-Каспийской области замкнутого стока. В эту область входят пустыни Казахстана и Средней Азии, Поволжье, Восточное Закавказье, Кавказ, часть Русской равнины и Урала, а также горы и предгорные равнины Тянь-Шаня и Памиро-Алая. Меньшая часть, главным образом зона нового орошения, расположена в бассейнах рек, стекающих в Черное море, входящее в бассейн Атлантического океана.

С мелиоративных позиций территорию земли можно разделить на следующие районы: первый — часть суши, где формируется сток за счет дождевых вод, таяния снега и льда и не подвергается затоплению; второй — часть суши, периодически недлительно затопляемая поверхностными водами (паводки в поймах, дельтах с образованием временных озер на периферических частях подгорных равнин и в результате делювиального стока, а также вторжений морских вод и др.); третий — территории длительного затопления текучими (русла рек) или малоподвижными озерными, морскими водами; четвертый — территории пустынь, где совсем не образуется стоков из-за отсутствия осадков, но могут возникать лишь небольшие стоки, имеющие локальный характер, как, например, на такырах.

В Арало-Каспийской области сток образуется только на половине площади, на другой половине, к которой больше всего приурочено орошаемое земледелие, совсем не образуется поверхностных водотоков или они несут транзитные воды, образовавшиеся в других районах. Часть общего стока, образующегося в этой области, ис-

паряется до впадения их в водоемы. В целом для области коэффициент стока составляет 0,23, т. е. от общей суммы осадков, поступающей на территорию, включая горную, 77% расходуется на испарение. И, как уже отмечено выше, на половине этой площади коэффициент стока равен нулю.

Орошаемое земледелие оказывает значительное влияние на перераспределение поверхностного стока. Сооружена новая густая гидрографическая сеть в виде оросительных каналов и водохранилищ, дренажной сети с коллекторами, выводящими дренажные воды в пустыню. Общая протяженность ирригационных каналов в СССР превышает 500 тыс. км, объем водохранилищ емкостью свыше 1 млн. $м^3$ — 830 $км^3$, а площадь их зеркала составляет несколько меньше 117 млн. га. Поступление вод на часть территории, которая преимущественно испаряет, значительно увеличилось. В прошлом испарялась влага, поступавшая в виде осадков, с грунтовыми водами и с поверхности водотоков, пересекающих транзитом эту территорию. Этот расход был в общем небольшим из-за ограниченности резервов влаги. С развитием орошения расход воды на испарение должен значительно возрасти в результате увеличения как испаряющей площади орошаемых земель и сети каналов и водохранилищ, так и площадей с более близким к поверхности уровнем грунтовых вод в зоне питания каналов и орошаемых массивов. Только небольшая часть общего водозабора ($\sim$10—15%) возвращается в реки в виде возвратных и дренажных минерализованных вод.

Таким образом, в общем неблагоприятные гидрологические условия аридной зоны с развитием орошения еще больше усложняются и оказывают большее влияние на условия миграции растворимых солей через усиление питания грунтовых вод, мобилизацию и вынос древних аккумуляций солей. Поверхностные воды сами являются источником солей.

Воды таких крупных речных артерий, как Сырдарья, Амударья, на пути своего движения к Аральскому морю трансформируют свой состав, пересекая одну за другой тектонические, заполненные аллювиально-пролювиальными проницаемыми отложениями понижения, в которых расположены орошаемые оазисы. При этом в верхних частях этих оазисов значительная часть речных вод поступает в грунтовые воды, а в нижних частях

перед очередным тектоническим барьером на пути грунтового потока реки собирают возвратные минерализованные воды. В результате для Сырдарьи от верхнего к нижнему течению реки минерализация возрастает примерно в 8—10 раз (с 0,3 до 2,5—3 г/л). Поэтому роль гидрологических потоков в солевых режимах орошаемых почв очень велика и должна учитываться при рассмотрении мелиоративных вопросов. Изменяется не только количество солей, но и их качественный состав. Речные воды, проходя через почвы и грунтовые воды и трансформируясь в возвратные, теряют бикарбонатно-кальциевые и сульфатно-кальциевые соли и обогащаются сульфатами и хлоридами магния и натрия.

Гидрогеологические условия. Грунтовые воды оказывают многостороннее влияние на формирование и режим засоленных почв. В одних условиях они служат источником солей, в других — приемником и средством их перемещения по территории. Грунтовые, почвенные и поверхностные воды являются звеньями одной цепи миграции солей на Земле. Поэтому при решении мелиоративных вопросов приходится рассматривать их вместе. Степень участия вод в почвообразовательных процессах, в том числе и солевых, зависит прежде всего от глубины их залегания. Чем выше уровень грунтовых вод, тем больше влияние их на почвы. При этом имеется как бы контрольный уровень грунтовых вод, с превышением которого их влияние на почвообразовательные процессы резко падает или практически сводится к нулю, так как двусторонняя связь почв и грунтовых вод прерывается. Эта глубина была названа критической. Содержание этого понятия несколько изменилось: она зависит в большей степени от водно-физических свойств (капиллярная водопроводимость, скорость и высота поднятия вод) почв, в меньшей — от климатических условий.

В природных условиях глубина залегания уровня грунтовых вод не является постоянной величиной; она колеблется по сезонам и годам в зависимости от того, как складываются разные статьи баланса.

С углублением знаний выявляются все новые связи засоления почв с динамикой грунтовых вод. В первые десятилетия текущего столетия, когда была замечена зависимость засоления почв от глубины уровня грунтовых вод, почвоведы-мелиораторы не знали, что обмен

почвенных и грунтовых вод затрагивает десятки метров в глубину. Первый, кто определил большое мелиоративное значение вертикального обмена грунтовых вод, был Б. В. Федоров (1950). Большой вклад в изучение процессов движения солевых растворов в зоне активного обмена был внесен А. Т. Морозовым, Н. В. Роговской, Д. М. Кацем и др. Было установлено, что процессы соле- и водообмена на орошаемых землях затрагивают мощную толщу почв и грунтовых вод вплоть до водоупора.

В горизонтальном направлении также осуществляется движение вод по уклону и под влиянием напоров от вышерасположенных земель. На подгорных наклонных равнинах в пределах зоны влияния на почвы грунтовых вод по условиям стока выделяется район так называемого выклинивания грунтовых вод (сазовая зона), где воды залегают в тонкочастичных грунтах, имеют слабый отток и близко подходят к поверхности почв. С удалением от гор сазовая зона сменяется зоной рассеивания грунтовых вод, куда мало поступает вод с более высоких земель из-за незначительной водопроводимости тонкочастичных грунтов. В таких условиях уровень грунтовых вод зависит от локальных условий и источников питания.

Зона пустыни занимает, как правило, бессточные территории, разделяющиеся на ряд самостоятельных гидрогеологических областей по границам, определяющим геолого-структурное устройство территории. В бассейне Сырдарьи, например, такими областями являются Ферганская долина, Дальверзин-Голодностепская и ряд других ниже расположенных по течению реки, которые разделены тектоническими барьерами, затрудняющими отток грунтовых вод за их пределы. Эти же области являются и самостоятельными по солевым миграциям. В нижних и центральных их частях соли накапливаются в грунтовых водах и почвах. Если бы не было перераспределения солей внутри этих областей, то при отсутствии оттока или недостаточной его величине орошаемое земледелие было бы невозможно. К счастью, в таких условиях формируются зоны локального опреснения в результате местного перераспределения.

Каждый оазис в пустыне в почвенно-гидрогеологическом отношении представляет собой особую систему, состоящую из звеньев разного порядка. Наиболее круп-

ное звено — массив питается самостоятельными ирригационными системами, часто с общим водозаборным узлом. Массивы отделяются друг от друга депрессиями между ирригационными системами или же бугристыми землями, неподкомандными каналам.

Массивы разделяются на районы, питаемые крупными распределителями или отдельными каналами. Ирригационная сеть, проложенная на повышениях поверхности, в земельных руслах создает постоянный градиент напора от верхних частей к нижним перифериям систем и межканальным понижениям. Создается сложная система сочетания токов почвенно-грунтовых и грунтовых вод, движение которых обусловлено сочетанием факторов разного порядка в зависимости от порядка звена. Но это воздействие проявляется на разную глубину. В каждом из структурных подразделений оазиса имеется верхняя, средняя и нижняя части. В верхних частях происходит преимущественно питание, в средних — транзит и частичная разгрузка, в нижней части — расход грунтовых вод.

Оазисы в пустыне, как правило, не имеют естественного оттока грунтовых вод за свои пределы. Например, в Мургабском оазисе отток составляет менее 2% поступления вод в оазис. Поэтому на фоне общей бесточности грунтовых вод наличие местного перераспределения почвенно-грунтовых вод имеет исключительно важное практическое значение. Пустующие земли в прошлом являлись приемниками солей и обеспечивали рассоление одних участков за счет засоления других, что позволяло возделывать на части площади постоянного орошения культуры на протяжении многих столетий.

# ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ И МЕЛИОРАТИВНЫЕ СВОЙСТВА ЗОНАЛЬНЫХ ПОЧВ СРЕДНЕЙ АЗИИ

## ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОНАЛЬНЫХ ПОЧВ

Мелиоративные качества почв Средней Азии отличаются большим разнообразием, в значительной мере определяемым специфическим литологическим строением, особым происхождением и историей развития. Однако наряду с различием генетических и ирригационно-мелиоративных особенностей они имеют много общего и сопряженного в геохимическом режиме и агропроизводственных свойствах, поэтому рассматривать их лучше в единой системе, определенной природными условиями региона.

Средняя Азия в пределах СССР занимает южную часть Туранской низменности, которая с юга и востока ограничена горными системами Копет-Дага, Памиро-Алая и Тянь-Шаня. С запада и севера территория открыта и подвержена действию холодных воздушных течений.

По климатическим условиям Среднюю Азию относят к северным континентальным субтропикам. В широтном направлении она делится на три части: северную, центральную и южную, различающиеся по водно-термическому режиму, в зависимости от которого разработаны разные режимы искусственного орошения и агротехника сельскохозяйственных культур. Южная часть по природным условиям благоприятна для возделывания тонковолокнистого хлопчатника, в центральной ведущей культурой является средневолокнистый хлопчатник, а в северной орошаемые земли заняты сахарной свеклой, рисом, табаком, зерновыми и фуражными культурами. Во всех частях Средней Азии климатические условия благоприятны для виноградарства, садоводства, бахчеводства и разведения шелковичного червя. Все эти куль-

туры имеют продолжительную, более чем тысячелетнюю историю народной селекции, возделывания и приспособления к сложным мелиоративным условиям разных районов.

Безморозный период по территории Средней Азии изменяется с севера на юг от 172 до 229 дней, сумма температур выше 10°С — от 3600 до 5600°С, температура наиболее теплого месяца колеблется в пределах 23—30°С. Зима холодная, в северных районах морозная, малоснежная. Осадки выпадают преимущественно в зимне-весеннее время, их среднегодовая величина колеблется от 70—90 мм в центральных районах пустынь до 400—500 мм в низкогорных районах.

На гидротермические условия Средней Азии большое влияние оказывают прилегающие с юга и востока горы, несколько ослабляющие контрастность климата, повышающие влажность воздуха, увеличивающие количество осадков и снижающие температуру. По этим признакам территорию разделяют на две высотно-климатические зоны: предгорную, полупустынную, и ниже 150—200 м над уровнем моря пустынную.

Почвенный покров во многом зависит от геоморфолого-литологических условий, весьма разнообразных, что определено взаимодействием активных тектонических, эрозионно-аккумулятивных, аллювиальных и эоловых процессов, сформировавших различные типы разновозрастных поверхностей. Здесь широко распространены аллювиальные долины и равнины, дельты рек, конусы выносов горных рек и временных водотоков, подгорные шлейфы и террасы, расчлененные поверхности древних подгорных равнин на месте глубоких предгорных прогибов, структурные останцовые плато с остатками почвенного покрова нижне- и среднечетвертичного, реже неогенового, времени, холмогорья и огромные пространства песчаных пустынь с эоловыми древними и современными аккумуляциями песка. Особо выделяются зоны контактов и депрессий на границе подгорных наклонных и аллювиальных равнин, как выясняется новейшими исследованиями, с приподнятым ложем неогеновых и нижнечетвертичных слежавшихся и пропитанных гипсом отложений, разделяющих потоки грунтовых вод от аллювиальных долин и гор.

Материнские и подстилающие породы в данном регионе значительно влияют на мелиоративные качества

и плодородие почв. Собственно почвообразовательные современные процессы преобразуют материнскую породу в небольшой степени, так как сухость климата не благоприятствует химическим и биохимическим процессам, больше имеют влияние физические процессы переработки и переноса продуктов выветривания и почвообразования (эоловая, аллювиальная, коллювиальная и др.).

По этой же причине в почвенном покрове, там, где он не нарушен, длительно сохраняются черты строения и состава почв, приобретенные в иных, нежели современные, условиях, и это имеет огромное значение в определении мелиоративных качеств почв. Можно утверждать, что материнскими породами во многих частях Средней Азии служат продукты древнего почвообразования; определяющую роль в формировании более молодых почвообразующих пород играет эолово-аллювиальная пересортировка и аккумуляция древних карбонатных продуктов выветривания и почвообразования.

Наиболее характерным и специфическим по своим мелиоративным качествам является лёсс, широко распространенный в зоне предгорных полупустынных степей. Возраст типичного лёсса определяется как средне- и верхнечетвертичный. Происхождение его, несмотря на огромное число посвященных этому вопросу работ, остается окончательно не выясненным, хотя его состав, строение и техногенные свойства к настоящему времени изучены очень хорошо. Этому способствовало развитие ирригационных и инженерно-строительных работ, при проведении которых нужно было преодолеть просадочные свойства лёсса. В стратиграфическом расчленении и выявлении закономерностей геоморфологического строения лёссовых равнин большая заслуга Ю. А. Скворцова.

Более молодые отложения, послужившие материнскими породами, пролювиально-делювиальные и аллювиальные лессовидные. Современные долины и дельты рек также имеют лессовидный аллювиальный покров. Для лёсса и лессовидных отложений характерен пылеватый суглинистый состав (от легких до тяжелых суглинков). Лёсс характеризуется также высокой пористостью (50—55%) и низким объемным весом (1,2—1,3), идеальной микроагрегированностью, значительной проницаемостью, удовлетворительной влагоемкостью и

при замачивании склонностью к просадкам. При длительном насыщении лёсса водой он приобретает свойства плывунности.

Лессы и лессовидные породы характеризуются высоким содержанием карбонатов (10—20%), слюдисто-полевошпатово-кварцевым минералогическим составом с включением акцессориев и минералов тяжелой фракции. В глинистой фракции преобладают гидрослюды, смешаннослойные монтмориллонитово-гидрослюдистые образования, меньше хлорита, каолинита и нередко палыгорскита. Типичные лессы и молодые лессовидные породы при преобладании пылеватой фракции выделяются еще очень слабой, иногда незначительной выветрелостью первичных минералов, что отличает их от более выветрелых нижнечетвертичных и более древних неогеновых осадочных образований, характеризующихся более разнозернистым составом и высоким оглинением.

Лессы и, в меньшей мере, лессовидные породы имеют следы реликтового почвообразования (ходы корней, камеры почвенной фауны, почвенные агрегаты) и элювиально-иллювиальных процессов перераспределения карбонатов, остатки аккумулятивно-гумусовых горизонтов с небольшим содержанием гумуса, реже образования почвенного гипса и солевые горизонты. В стратиграфическом разрезе лессов и лессовидных отложений обнаружены горизонты ископаемых почв с четкими чертами почвообразования, свойственные несколько более влажным условиям климата, чем те, в которых образовалась большая часть лессовой толщи. Такие ископаемые почвы содержат больше, чем лесс, гумуса, минеральная их часть больше оглинена, отчетливо выделяется иллювиально-карбонатный горизонт с белоглазкой и конкрециями и иногда гипсоносные горизонты, сплошные или прерывистые.

Природные свойства лессов и лессовидных отложений, служащих материнскими породами современных почв, обусловливают высокое плодородие почв. В них есть все необходимые для растений питательные минеральные элементы. Поэтому орошаемое земледелие на лессовых равнинах имеет благоприятные условия для своего развития. К сожалению, в современных условиях поверхность приподнятых лессовых равнин значительно преобразуется под влиянием развития эрозионных и техногенных процессов. Происходит как бы ни-

велировка поверхности, опускание ее на повышенных элементах рельефа, заполнение и некоторый подъем поверхности пониженных мест и значительная потеря массы плодородного лессового покрова. Легкая окультуриваемость лесса не способствовала тому, чтобы процессы перераспределения и потери лессовых масс взять под контроль. Но лессовые покровы не везде имеют большую мощность, они истощимы и под ними залегают нижнечетвертичные и более древние, часто гипсоносные и соленосные отложения с плохими физическими свойствами. Необходимо приступить к изучению этих процессов и разработать меры по охране лессовых покровов.

В предгорных и низкогорных районах на крутых склонах материнские породы часто каменисты. В верхних частях конусов выноса и поймах долин на поверхность нередко выходят галечниковые отложения, которые при освоении приходится кольматировать — искусственно наносить слой мелкозема.

В области пустынь, а частично и на волнисто-холмистых обширных предгорных равнинах, таких, как Карабиль и Бадхыз, широко распространены песчаные эоловые отложения, которые являются продуктом эоловой переработки аллювиальных пород и продуктов разрушения более древних осадочных и коренных пород (песчаников, известняков и др.). По составу первичных минералов они мало чем отличаются от лессов, но обычно менее карбонатны, мало содержат глинистых минералов, иногда ожелезнены.

На третичных плато материнской породой почв служит глинисто-щебнистый и щебнистый элювий коренных пород: песчаников, алевролитов, известняков.

По климатическим условиям, материнским породам и характеру растительного покрова Средняя Азия разделяется на две высотные зоны: 1) зону подгорных полупустынных степей (низкотравных полусаванн) с разнотравно-мятликовой, полынно-эфемеровой и эфемеровой растительностью; 2) зону пустынь со злаково-саксауловой и другой псаммофитовой растительностью на песчаных равнинах и очень изреженной гаммадовой, полынно-биюргуновой растительностью на третичных плато.

Поверхности, увлажненные речными и грунтовыми водами, покрыты различной влаголюбивой тугайной и галофитовой растительностью. На возвышенностях Ка-

рабиль и Бадхыз сохранились эндемичные и реликтовые виды ксерофитов.

В северной части Средней Азии вегетация прерывается из-за суровых морозных зим, в центральной части 25—50% зим вегетационных, а в южной части в 50—90% и более зим растения могут вегетировать круглый год. В летний период вегетация растений ограничивается недостатком влаги. Растительный покров в автоморфных условиях влагообеспечения в жаркое время находится в состоянии покоя.

## ПОЧВЫ И ИХ МЕЛИОРАТИВНЫЕ СВОЙСТВА

В соответствии с эколого-климатическими и литолого-геоморфологическими условиями в Средней Азии образовалось пять комплексов почв; два из них зональные почвы: сероземы и пустынные; третий — литоморфные с доминированием палеогенетических признаков почв, встречающиеся среди и зональных и гидроморфных почв; четвертый — почвы гидроморфного увлажнения в зонах выклинивания грунтовых вод, а также в долинах и дельтах; пятый комплекс — оазисно-ирригационные почвы — на орошаемых территориях.

### Сероземы

Сероземы относятся к числу лучших, наиболее легко осваиваемых и плодородных почв Средней Азии. К настоящему времени свободные фонды этих земель близки к исчерпанию. Большие их площади уже освоены под орошаемое земледелие и преобразованы в оазисные, другие используются в богарном земледелии за пределами орошаемых районов.

Сероземы распространены в области полупустынных степей (низкотравных полусаванн), преимущественно на лессах и лессовидных породах подгорных равнин и предгорий, на высотах 150—1000 м над уровнем моря. Годовое количество осадков 200(250)—450 мм; выпадают они в основном весной; лето сухое, жаркое; годовая испаряемость 1200—1500 мм.

Целинные сероземы имеют палево-серый цвет, они рыхлые, слабо дифференцированы на генетические горизонты, пылеватые легко-, средне,- редко тяжелосуглинистые. Минералогический состав в основном насле-

дуется от материнских пород. Малая гумусность, гидрослюдистый и гидрослюдисто-монтмориллонитовый смешаннослойный состав илистой фракции определяют небольшую емкость обмена — 6—13 мг·экв. на 100 г почвы, что имеет важное значение в мелиоративном отношении. Поглощающий комплекс насыщен кальцием, с глубиной возрастает доля поглощенного магния.

Сероземы обладают хорошими водно-физическими свойствами, высокой проницаемостью и удовлетворительной влагоемкостью. При орошении в начальный период трудно осуществить равномерное распределение влаги, так как из-за большой скважности много воды теряется на фильтрацию; из-за разной осадки деформируется поверхность. Если отток грунтовых вод не обеспечен, уровень их поднимается.

Почвы биологически высокоактивны, количество микроорганизмов превышает 10 млн. на 1 г почвы. Масса корневых систем составляет 15—20 т/га. Растительные остатки быстро минерализуются благодаря обилию почвенной фауны и интенсивной микробиологической деятельности, что и определяет небольшие запасы гумуса в почвах (60—120 т/га) при высоком содержании азота (6—12 т/га).

Благодаря гидрослюдистому составу и наличию апатита сероземы богаты валовым калием (1,5—3% $K_2O$) и фосфором (0,13—0,25% $P_2O_5$), что является одной из причин их высокого плодородия.

Сероземы, выделяемые на уровне типа, разделяются на подтипы: светлые, обыкновенные (типичные), темные и северные (малокарбонатные). В прошлом к сероземам относили также пустынные песчаные, такыровидные и серо-бурые (структурные сероземы); теперь все они выделены в самостоятельные типы соседней пустынной зоны.

В настоящее время в состав типа сероземов включают почвы специфического происхождения и строения с высоким содержанием гипса в почвенном профиле, сильнозасоленные и почвы с плохими физическими свойствами, распространенные на древних слоистых уплотненных отложениях подгорных равнин. Ранее они были мало известны. Теперь благодаря почвенным изысканиям с мелиоративно-ирригационной целью они изучены более полно. На основе полученных новых материалов эти почвы необходимо также выделить в особый тип.

Таким образом, круг собственно сероземных почв сужается. В своем классическом проявлении они привязываются к области распространения лессов и лессовидных пород пустынной предгорной равнины Средней Азии.

Обыкновенные (типичные) сероземы распространены на высоких частях подгорных равнин и холмистых предгорий, частично встречаются в полосе низкогорий. Они занимают поверхности на уровне от 300—500 до 500—800 м. Растительный покров представлен теми же травянистыми эфемерово-мятликовыми группировками, что и на светлых сероземах, но почти без полыни, замещенной здесь ксероморфными многолетниками, вегетирующими и в период засухи. Местами встречаются фисташковые деревья. От светлых сероземов обыкновенные сероземы отличаются более темным цветом гумусового горизонта и более глубоким залеганием солевых и гипсоносных горизонтов. Кроме того, для них характерно кавернозное (дырчатое) сложение средней части профиля, обусловленное активной деятельностью почвенной фауны. Содержание гумуса в обыкновенных сероземах в верхнем (0—10 см) слое составляет 1,5—2,5%, а мощность гумусовых горизонтов возрастает до 60—100 см, количество $CO_2$ карбонатов в верхней части профиля несколько ниже, а в средней выше (обычно от 4—7 до 8—12%), чем в светлых. Несколько выше в них и количество тонких частиц (мельче 0,001 мм), в связи с чем эти почвы несколько лучше оструктурены. Большие площади на крутых склонах заняты маломощными обыкновенными сероземами суглинисто-щебнистыми и галечниковыми.

Типичные сероземы на лессах имеют хорошие водно-физические свойства, объемный вес сверху вниз возрастает от 1,2 до 1,4, порозность 55—50%, обычно не засолены.

Темные сероземы приурочены к еще более высоким частям предгорий и низкогорий (от 500 (800) до 1000 (1200) м). Растительный покров представлен пырейно-мятликовыми разнотравными группировками с участием крупнотравья. По строению они близки к обыкновенным сероземам, но отличаются от них более высоким содержанием гумуса (до 4—5%), большей мощностью гумусовых горизонтов, достигающей 80—120 см, и еще более значительной выщелоченностью.

Содержание $CO_2$ карбонатов сверху вниз увеличивается от 1—2 до 12%. Среди них также много маломощных и щебнистых разновидностей, залегающих на плотных породах. Почвы не засолены.

Светлые сероземы распространены в наиболее сухой и жаркой части пустынных степей, приурочены к области древнеаллювиальных равнин (Голодная степь, Каршинская степь), подгорных равнин, а по южным склонам заходят в область низких предгорий. Располагаются на высотах от 150 до 300—500 м над уровнем моря. Растительность эфемеровая, мятликово-осоковая с некоторым участием полыни и солянок. Содержание гумуса в горизонте 0—10 см обычно не превышает 1,5%. Мощность гумусовых горизонтов ($A+B_1$) достигает 40—70 см. Содержание $CO_2$ карбонатов равно 4—8% в верхнем горизонте и до 7—9% в средней и нижней части почвенного профиля. Все светлые сероземы на той или иной глубине засолены водорастворимыми солями (солончаковаты) и гипсоносны. Но среди них встречаются и незасоленные (до глубины 1,5—2 м). Местами отмечены солонцеватые сероземы.

Северные (малокарбонатные) сероземы выделяются в самых северных районах Средней Азии — в предгорьях Киргизского хребта. В общих чертах они характеризуются меньшим содержанием карбонатов, поэтому они так и называются. Наряду с этим они содержат меньше органического вещества и имеют меньшую мощность гумусового слоя. Для них характерны биологически менее активные процессы, что выявляется в слабой деятельности почвенной фауны и меньшей задернованности. Кавернозный горизонт, характерный для типичных сероземов, в них отсутствует. В профиле почв, развитых на однородных суглинках, до глубины 15—20 см хорошо заметна гумусовая окраска серого цвета, книзу постепенно светлеющая. Содержание гумуса (0—10 см) достигает 1,5—2%, глубже уменьшается до 0,5—1%. Почвы вскипают с поверхности.

Содержание $CO_2$ карбонатов изменяется от 1—3% сверху до 4% на глубине 20—50 см, а глубже возрастает до 6—7%. Засоления практически нет.

Светло-бурые (тянь-шаньские) почвы — особый тип пустынно-степных почв. Они распространены в межгорных котловинах Внутреннего Тянь-Шаня (Кочкорской, Нарынской и Атбашинской), характеризу-

ющихся резко континентальным климатом с холодной почти бесснежной зимой, сухим и относительно прохладным летом. Растительность — солянково-полынная, эфемеры отсутствуют. Почвенный профиль слабо дифференцирован, содержание гумуса 1—2%, гор. А+В — 40—70 см, карбонатны с поверхности, в нижних горизонтах появляются соли и гипс. Средняя часть профиля всегда уплотнена и осолонцована. Раньше эти почвы относили тоже к сероземам. Светло-бурые почвы используются в орошаемом земледелии, на них возделываются культуры с коротким вегетационным периодом.

Сероземы гипсоносные встречаются на подгорных равнинах среди светлых и даже типичных сероземных почв на древних поверхностях. Несмотря на широкое распространение, их генезис и свойства слабо изучены. Они приурочены к пролювиально-делювиальным шлейфовым, останцовым и межконусным частям равнин, сформированы на слоистых, часто хрящеватых отложениях. В строении профиля заметна явная гетерогенность. Верхняя часть профиля обычно сформирована из лессовой материнской породы. Строение и состав гумусового горизонта часто не отличается от такового светлых сероземов, но под сероземно-лессовым покровом обнаруживаются остатки профиля почв иного происхождения, по своему строению напоминающие серо-бурые, иногда гажевые почвы.

Между разновозрастными горизонтами в профиле часто можно видеть четкую границу, неровную, с карманами бывших пустот и кавернами на эродированной поверхности древней почвы, заполненных более молодым лессовидным материалом. Для таких территорий характерна большая пестрота почвенного покрова из-за сложного строения размытой древней поверхности, образованной эрозионными ложбинами и котловинами выдувания, покрытой плащом лессовидного материала разной мощности, сглаживающего неровности древнего рельефа. Эти почвы относятся к числу трудномелиорируемых из-за пестроты почвенного покрова, плохих физических свойств погребенных почв и более глубоких горизонтов, сложности рельефа и легкого нарушения при строительно-ирригационных работах лессового маломощного покрова. Мелиоративные особенности этих почв подробнее описаны в отдельной части данной работы.

Луговые и сероземно-луговые почвы сероземной зоны распространены в местах дополнительного грунтового или пойменного увлажнения. В районах распространения светлых, а часто и обыкновенных сероземов они засолены. Хорошо дренированные почвы среди сероземов обычно не засолены, но часто повышенно закарбоначены и отличаются высоким содержанием гумуса. На низких затопляемых речных террасах развиваются аллювиально-луговые почвы под тугайной (древесно-кустарниковой) растительностью, а на низких переувлажненных местах развиваются болотно-луговые почвы, часто под густыми тростниковыми зарослями. Луговые и лугово-болотные почвы сероземной зоны к настоящему времени почти все вовлечены в орошаемое земледелие.

В зоне выклинивания грунтовых вод в периферии конусов и межконусных понижениях распространены повышенно-карбонатные, гипсоносные и часто солеиосные почвы. Обычно это древние почвы со следами чередования разных циклов обсыхания и увлажнения. Их поверхности под маломощными покровами более молодых лессовидных отложений изборождены сетью мелких водотоков. Местами эти почвы размыты и замещены более молодыми слабогипсоносными и более рыхлыми почвами на слоистых отложениях с включением на границе размыва галечниково-гравийных прослоек.

## Почвы пустынных равнин

Почвы пустынь развиваются в значительно более сухих и контрастных гидротермических условиях, чем сероземы — почвы полупустынных степей. За год выпадает менее 200, а чаще 90—150 мм осадков, которые приурочены к поздней зиме и ранней весне. Лето очень сухое, жаркое, без дождей. В таких условиях большое влияние на режимы почвообразования оказывает механический состав материнских пород. Последний признак, в других зонах принимаемый как родовой в классификации почв, здесь признан как типовой, определяющий генетический тип почв.

Для всех пустынных почв характерна малая гумусность (содержание органического вещества менее 1%, а чаще 0,3—0,7%); почвы имеют низкую емкость обмена, обычно колеблющуюся в интервале 3—8 мг·экв. на

100 г почвы. Почвы высококарбонатны с самой поверхности. Здесь слабо проявляются иллювиальные процессы, которые заметны только на песчаных почвах; господствуют физические процессы выветривания и пересортировки почвенных материалов. Минеральная масса почв слабовыветрелая и унаследована в основном от материнских пород.

Такыровидные почвы (ранее назывались примитивными сероземами, такырными) — наиболее молодые почвы автоморфного почвообразования; это почвы обсохших аллювиальных и пролювиально-аллювиальных равнин, сложенных слоистыми суглинками, супесями, песками и глинами. Растительность на них разнообразная: на ранних стадиях — тамарикс, верблюжья колючка, черный саксаул и другие, живущие за счет глубоко залегающих грунтовых вод, а на более поздних стадиях развития — полынь, кеурек, биюргун и другие полукустарнички, образующие разомкнутый покров; эфемеры встречаются отдельными куртинками.

В профиле такыровидных почв слабая дифференциация на генетические горизонты намечается только в самой верхней части профиля: образуется непрочная пористая корка в 2—6 см, слабо выраженный слоевато-чешуйчатый горизонт светло-серого или буроватого цвета мощностью 5—12 см и на глубине 20—30 см бесструктурный несколько уплотненный горизонт; глубже наследуется морфология исходной гидроморфной почвы или материнской породы. В наиболее молодых почвах обнаруживаются остаточные признаки гидроморфизма — сизоватые пятна, погребенные гумусовые горизонты.

Содержание гумуса обычно менее 1%. Реакция почвенного раствора слабощелочная, емкость обмена 6—12 мг·экв. на 100 г почвы. Иллювиального карбонатного горизонта нет, но в некоторых условиях при обсыхании почв в нижних горизонтах исходной (обычно луговой, лугово-болотной) почвы морфологически хорошо заметны пятна карбонатов гидрогенно-аккумулятивного происхождения. Содержание карбонатов обычно высокое — 8—12% углекислоты извести, в песчаных прослойках всегда меньше. Содержание гипса обычно невелико; его распределение зависит от исходной засоленности почв и механического состава разных прослоек.

Такыровидные почвы большей частью засолены, преобладает хлоридно-сульфатное засоление. Встречаются

и повышенно-щелочные почвы, а также почвы хлоридного, реже сульфатного засоления, что определяется в основном процессами исходного соленакопления в предшествующий гидроморфный период почвообразования.

Такыровидные почвы составляют основной фонд земель нового освоения, часть их используется под пастбища, а освоенные под орошение изменяются и переходят в новые типы почвообразования.

Такыры. Они редко образуют крупные массивы, но часто встречаются мелкими участками, в несколько десятков или сотен метров. Это очень своеобразные образования, формирующиеся при периодической смене процессов весеннего застаивания воды на поверхности и при слабом промачивании профиля и сильном иссушении поверхности к концу лета с образованием твердой, полигонально-трещиноватой корки на поверхности. Обычно такыры приурочены к неглубоким плоским понижениям и не имеют покрова высшей растительности. Во время застаивания воды в них развиваются водоросли и лишайники.

В профиле такыра различаются те же генетические горизонты, что и в такыровидных почвах, но с существенно иными физическими свойствами. Корковый горизонт мощностью 2—8 см, светло-серый, когда высохнет (часто розоватый из-за пленочки осевшего ила), крупнопористый, в сухом состоянии очень прочный, при увлажнении вязкий. Трещины, проникающие на глубину 15—20 см, разделяют корковый горизонт на многогранные плитки с оплывшими краями. По трещинам со временем навевается песок. Подкорковый слоевато-чешуйчатый, или тонкопластинчатый, горизонт, серый или буроватый, имеет мощность 6—12 см. От аналогичного горизонта такыровидных почв он отличается лучшей оформленностью пластинчатых и слоеватых структурных отдельностей и часто большей твердостью в определенном интервале содержания влаги. Но при сильном иссушении он рассыпается на тонкие хрупкие пластинки. При увлажнении сплывается в сплошную вязкую массу. Ниже залегает плитчатый или глыбисто-плитчатый уплотненный горизонт. Общая мощность почвенного профиля такыров обычно 40—60 см.

Все такыры карбонатны с поверхности, содержание $CO_2$ карбонатов колеблется в пределах 4—12%. Содержание гумуса очень низкое — чаще около 0,5%; такыры

почти всегда содержат заметное количество нитратов, отношение углерода и азота равно 5—6. Большая часть такыров засолена, засоление сульфатно-хлоридное, хлоридное, редко содовое. Почвы бедны гипсом.

Пустынные песчаные почвы широко распространены в Каракумах, Кызылкумах и других пустынях. Зимне-весеннее промачивание песков достигает 1—1,5 м, а рыхловатая поверхность защищает влагу от испарения.

Растениям недоступны только доли процента влаги, содержащейся в почвах. Кроме того, существенное значение в песчаных почвах имеет конденсационная влага. В связи с этим растительность на них несравненно богаче, чем на других почвах пустыни: такырах, серобурых, такыровидных. Здесь широко представлена древесно-кустарниковая растительность (белый саксаул, песчаная акация, кандым, чогон, эфедра и др.), много травянистых однолетних и многолетних растений; особенно большое значение имеет песчаная осочка, которая является хорошим кормом для овец и образует дернину, защищающую почву от развеивания.

Территория, занятая пустынными песчаными почвами, представляет собой лучшие пастбища в пустыне, которые используются круглогодично. Небольшие пространства песчаных почв, прилегающие к оазисам и вблизи вновь возникающих промышленных центров, осваиваются под орошение. Основной проблемой является регулирование питательного и водного режима и защита от развеивания.

Серо-бурые пустынные почвы широко распространены на Устюрте, Красноводском полуострове, в Заунгузских Каракумах и в Южных Кызылкумах, на Девханинском плато по правому берегу среднего течения Амударьи и на наиболее древних участках подгорных равнин. Раньше эти почвы описывались под названием светло-бурых, структурных, гипсоносных и кыровых сероземов.

На серо-бурых почвах развита разреженная растительность: полынь, боялыч, кеурек, биюргун и др. Более полный развитый профиль серо-бурой почвы характерен для северной части среднеазиатских пустынь. В южных районах они находятся в стадии разрушения, маломощны, щебнисты и часто высокогипсоносны уже в подкорковом слое. По механическому составу преобладают

хрящевато-щебневато- или галечниково-суглинистые почвы; в мелкоземистой части много ила.

Почвы карбонатны, причем в верхних горизонтах часто карбонатов больше, чем в нижних. Особого внимания заслуживает гипс, который образуется на контакте с материнской породой и часто образует самостоятельный горизонт с содержанием 30—60% $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ и мощностью от 30 до 100 см. Это древнее образование, происхождение которого остается пока не исследованным.

Почти все серо-бурые почвы засолены. По морфологическим признакам в верхних горизонтах обнаруживаются признаки солонцеватости, что не всегда связано с поглощенным натрием. Имеются и незасоленные серо-бурые почвы, чаще всего приуроченные к западинам, промываемым здесь стоком атмосферных осадков.

В размещении серо-бурых почв наблюдается значительная пестрота. Для районов, где эти почвы тяжело- и среднесуглинистые (Устюрт), характерна мелкопятнистая комплексность почвенного покрова. Здесь солончаковатые и такырно-солонцеватые почвы биюргунников комплексируются с распространенными отдельными пятнами незасоленными (глубокосолончаковатыми) почвами под полынью и боялычем. Среди них разбросаны блюдцевидные и воронковидные микрозападины с промытыми почвами. Кроме того, в центральной части Устюрта и особенно в более южных районах комплексность почвенного покрова усложняется присутствием особых сильногипсоносных солончаковатых почв, в которых гипсовый горизонт начинается с 10—15 см от поверхности. Характер сложности почвенного покрова неодинаков в разных районах их распространения и связан в основном с микрорельефом, влиянием эоловых, делювиальных и других экзогенных процессов пустыни.

Огромные территории, занятые серо-бурыми почвами, используются почти исключительно под пастбища. Земледельческое освоение этих почв возможно только при орошении, но оно всюду затруднено не только из-за отсутствия местных источников орошения, но и из-за высокой гипсоносности, близкого залегания каменистых пород и сложного неровного рельефа поверхности, а также высокой щебнистости, частых выходов плотных и гипсоносных слоев на поверхность. На более выровненных поверхностях вблизи источников орошения эти поч-

вы местами освоены под земледелие (в долине Зеравшана и в некоторых районах Ферганской долины).

Луговые почвы пустыни развиваются в условиях атмосферного увлажнения и увлажнения грунтовыми водами, обычно маломинерализованными. Такие условия создаются на нижних террасах речных долин и в современных дельтах.

В большинстве случаев луговые почвы находятся в пределах орошаемых массивов. Почвы, издавна использовавшиеся под орошаемое земледелие, что возможно только при повсеместном применении мелиоративных мероприятий, перешли в тип земель староорошаемых и будут рассмотрены особо.

Болотно-луговые почвы встречаются среди луговых на пониженных элементах рельефа. Это почвы более высокого увлажнения грунтовыми водами, сезонно поступающими к верхним горизонтам почвенного профиля. От луговых они отличаются более высоким содержанием гумуса (2—3%) и более сильным оглеением. По содержанию легкорастворимых солей различаются болотно-луговые незасоленные (периодически промываемые поверхностными водами) и сильнозасоленные. Естественная растительность на таких почвах представлена в основном тростниковыми зарослями.

Аллювиально-луговые и аллювиально-болотно-луговые почвы (пойменные, тугайные) развиваются на пойменных, периодически затопляемых поверхностях в долинах и дельтах рек. В сезоны паводковых разливов они размываются или, напротив, намываются за счет аллювиальных наносов. В межпаводковые периоды увлажняются грунтовыми водами, что создает благоприятные условия для произрастания травянистой (вейник, аджрек и др.), а также древесной (разнолистного тополя, тамарикса, лоха, туранги и др.) растительности. При постоянном избыточном увлажнении в понижениях на болотно-луговых почвах образуются густые заросли тростника. Массивы аллювиальных тугайных почв, развивающихся в естественном режиме, сохранились больше в долине и дельте Амударьи. На других реках, где вода полностью идет на орошение или где сток вод зарегулирован водохранилищами, такие почвы либо освоены под орошаемое земледелие, либо на неосвоенных территориях обсохли и засоляются.

## Почвы антропогенного происхождения и их плодородие

На значительной части площади, в несколько раз превышающей площадь ныне орошаемых земель, почвенный покров изменен и преобразован влиянием человека. На собственно орошаемых землях сформировался ряд специфических типов оазисных почв. Почвы, которые орошались в прошлом, но по каким-либо причинам выпавшие и оказавшиеся вне оазиса, также приобрели своеобразное строение и состав почвенного профиля как под влиянием орошения, так и под действием опустынивания.

Основой сельскохозяйственного производства в Средней Азии является орошаемое земледелие; только в предгорной и горной полосе возможно богарное земледелие, приуроченное в основном к типичным и темным сероземам, однако оно не имеет интенсивного характера, что связано с недостатком влаги.

Орошаемое земледелие развивается здесь с энеолитического времени. В прошлом ведущей отраслью земледелия было производство зерна и трав, широко было развито виноградарство, шелководство, бахчеводство, садоводство, возделывались лубяные, эфиромасличные культуры и хлопчатник, которые, однако, не занимали больших площадей. В настоящее время и на перспективу основным направлением в южной половине Средней Азии является хлопководство. Другие культуры возделываются либо как компоненты хлопковых севооборотов (люцерна), либо занимают мелиоративный клин (культуры-освоители), либо возделываются на землях, непригодных для хлопчатника вследствие малой мощности мелкоземистого слоя, больших уклонов и расчлененности поверхности; тогда эти земли отведены под сады и виноградники. При малой водообеспеченности возделывают зерновые и бахчевые. В северо-восточной части, где по климатическим условиям возделывание хлопчатника ограничено, ведущими культурами являются сахарная свекла, табак, зерновые, бахчевые, эфиромасличные культуры, плодовые и виноградники.

Орошаемые земли занимают пока небольшую площадь от общей территории, лишь около 5%, остальные земли заняты горными районами, которые здесь не рассматриваются, и пастбищами.

Освоение земель под орошение — процесс очень трудоемкий, и в прошлом приросты орошаемых земель были очень небольшими. За пять предшествующих тысячелетий освоено всего около 16 млн. га, из них орошение оказалось стабильным только на площади около 5 млн. га, остальные земли по тем или иным причинам выпали из орошения.

В настоящее время при высоком уровне развития строительной ирригационно-мелиоративной техники освоение новых земель ведется очень быстрыми темпами. Большая часть земель нового орошения расположена в пустыне, где создаются крупные мелиоративно-ирригационные объекты: зоны действия Каракумского канала, Голодная, Шерабадская и Каршинская степи и др.

Почвы территорий нового освоения представлены главным образом такыровидными почвами и светлыми сероземами, в меньшей мере такырами и пустынными песчаными. Почти все они в той или иной мере засолены и нуждаются в мелиорации, основная задача которой — рассоление и предупреждение вторичного засоления, а также улучшение водно-физических свойств. Как показывает опыт, первый этап рассоления засоленных почв при глубоких грунтовых водах, свойственных неорошаемым массивам пустыни, осуществляется сравнительно легко в порядке предварительного использования земель. В производственной практике колхозы на новых землях собственными силами осуществляют небольшие планировки, сооружают простейшую ирригационную сеть в земляных руслах и на предварительно вспаханных полях дают влагозарядковые поливы. Опреснив корнеобитаемый слой, сеют различные культуры, в том числе и хлопчатник. Плановое освоение начинается несколько позже. При такой системе грунтовые воды очень быстро поднимаются и дальнейшее использование этих земель без искусственного дренажа становится неустойчивым, часть земель выпадает из-за вторичного засоления. Особенно большие размеры этот процесс приобрел ныне на Хаузханском массиве в зоне Каракумского канала.

Вторичное засоление почв, которое является следствием бездренажного ведения орошаемого земледелия на землях с бессточными грунтовыми водами, широко распространено в Средней Азии. Борьба с ним — одна из основных и трудных проблем освоения новых земель

под орошаемое земледелие и интенсификации сельскохозяйственного производства на староорошаемых землях. На засоленных землях снижается эффективность применения минеральных удобрений, а при высоких степенях засоления использование удобрений бессмысленно, так как лимитирующим фактором становится вредное влияние солей в почвенных растворах.

Перераспределение солей при орошении очень важное, но не единственное последствие его влияния. В процессе возделывания почв в условиях орошаемого земледелия изменяются водный режим почв, баланс питательных элементов, водно-физические и физико-химические свойства почв, а также условия почвообразования: гидрогеологические, состав растительного покрова, микроклимат, рельеф, материнская порода, которые также оказывают большое влияние на уровень производительной способности почв.

Орошаемое земледелие приурочено в основном к долинам и дельтам рек, а также к подгорным равнинам, куда можно подать оросительные воды самотечным способом. В настоящее время благодаря развитию машинной техники под орошение используются и более высоко расположенные земли, на которые оросительные воды подаются насосами. Орошение проникает и в глубь пустыни, чему способствует возникновение новых населенных пунктов в местах промышленных разработок полезных ископаемых. Орошаемое земледелие оказывает влияние не только на почвы, но и на ландшафт орошаемой территории.

Рельеф поверхности начинает изменяться уже при подготовке земель под орошение. Для обеспечения равномерного увлажнения почв при поливах и промывках производят планировку территории: выравнивают поверхность, создают оросительную сеть, оградительные валики на полях и пр. При планировках территории со сложным рельефом в настоящее время перемещается 1000—2000 $м^3$/га земли, при этом практически затрагивается почвенный покров на всей площади орошаемого поля. В процессе длительного использования под орошение капитальные планировки периодически повторяются, а текущее выравнивание поверхности практически производится ежегодно. В результате на землях древнего орошения исчезли первичные элементы микрорельефа и даже мезорельефа (старые русла, прирусловые валы

и др.), территория в целом приобрела большую равнинность; одновременно возникли новые, в прошлом обособившиеся при планировках бугры неподкомандных каналу поверхностей, приарычные бугры, вторичные межканальные понижения в местах, неудобных для орошения из-за переувлажнения и вторичного засоления, которые теперь тоже выравниваются и осваиваются.

В предгорных районах с холмистым рельефом искусственно создан своеобразный террасовый рельеф. В этих районах в первый период орошения происходят и деформации поверхности вследствие просадочности почвогрунта. На поверхностях с уклоном 0,01—0,1 орошение нередко приводит к возникновению ирригационной эрозии. Особенно легко эродируются сероземные почвы на лессах. Наиболее сильный смыв почв наблюдается в средних частях склонов, тогда как в нижних происходит намыв почвенных частиц. Большой ущерб качеству орошаемых земель наносит так называемая сетевая эрозия — размыв русл каналов и оросителей. В подгорных районах встречаются расходящиеся от источника питания русла древних каналов, на 5—10 м врезанные в лессовую толщу. В настоящее время при новом освоении на таких землях производят специальные противопросадочные и противоэрозионные работы: замочки, уплотнения, дополнительные капитальные планировки, облицовку каналов, сооружают трубопроводы и перепады.

Изменение свойств орошаемых почв в значительной мере зависит и от качества оросительных вод. Ранее оросительные воды, забираемые из рек, характеризовались большой мутностью, со средним содержанием взвешенных частиц от 1 до 9 кг/м$^3$ воды (рис. 1). Около 30—50% общей массы наносов задерживались в ирригационной сети, остальное выносилось на орошаемые поля. За многие годы эксплуатации каналов ложа их значительно поднялись, а вдоль русл образовались бугры илов, накопившиеся в результате их очисток. Неравномерное распределение наносов привело к созданию вторичного рельефа, характеризующегося чередованием приканальных повышений и чашеобразных понижений между ними.

Пахотный слой орошаемых почв за 200—300 лет обновляется в результате накопления агроирригационных наносов. В древних оазисах за счет ирригационных от-

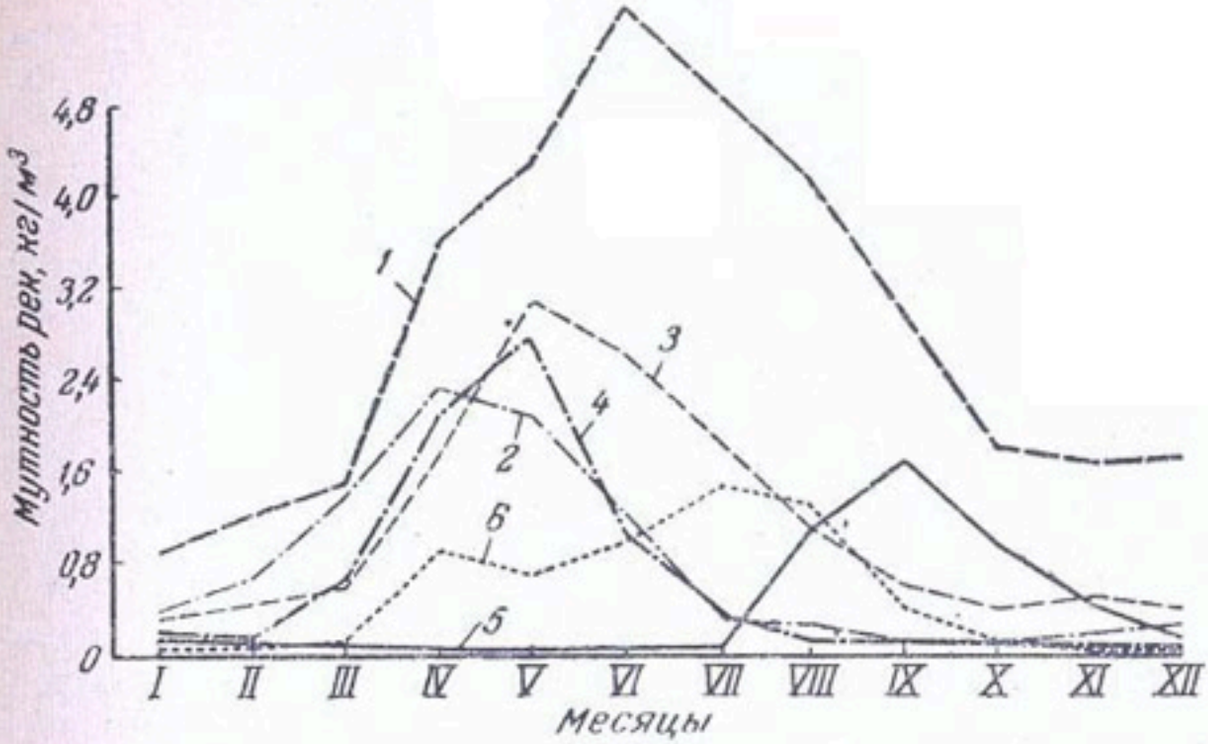


Рис. 1. Режим мутности рек:
*1* — Амударья; *2* — Тигр; *3* — Сырдарья; *4* — Мургаб; *5* — Нил; *6* — Зеравшан.

ложений образовался 1,5—2-метровый слой, а на более древних землях орошения слой до 3—5 м. В настоящее время благодаря строительству водохранилищ поступление взвешенных частиц на поля уменьшается, утяжеляется состав, что имеет свои отрицательные последствия.

Изменение физических и агрохимических свойств почв. Неравномерное распределение взвешенных веществ по орошаемой площади сопровождалось дифференциацией наносов по механическому составу. Пылеватые и песчаные частицы осаждаются в ирригационной сети и накапливаются при чистке вдоль каналов, а глинистые выносятся в межканальные понижения. Этот процесс несколько ограничивается микроагрегированностью наносов. Частицы менее 0,01 мм при бикарбонатно-кальциевом составе оросительных вод обычно микроагрегированы. В современных условиях в связи со строительством водохранилищ качество оросительных вод ухудшается в сторону повышения натриевых солей и щелочности при снижении содержания кальциевых солей, взвешенные частицы несутся в раздельночастичном состоянии, и наиболее тонкие из них выносятся на поля. Из древнеорошаемых почв наиболее благоприятные свойства характерны для сформировавшихся в средних частях ирригационных склонов, они

имеют средне- и тяжелосуглинистый состав. В межканальных понижениях образовались глинистые почвы, менее проницаемые.

Немалое значение в формировании механического состава почв имело практиковавшееся с древнейших времен внесение землистых удобрений в виде компостов, продуктов выветривания глинобитных стен, сланцев, леса. Землистые удобрения при обработках и планировках постоянно перемешивались с почвенной массой, улучшая водно-физические и физико-химические свойства почв.

Все почвы Средней Азии характеризуются слабой водопрочностью почвенных агрегатов. В начальный период орошения происходит быстрое разрушение структуры природных почв вследствие выщелачивания солей, гумуса, пептизации почвенных коллоидов и непосредственного воздействия оросительных вод и обрабатывающих орудий. Происходит осадка поверхности сероземов, заплывают такыровидные почвы и такыры, водопроницаемость при этом снижается. В процессе окультуривания почв при внесении удобрений, орошении, разложении органических остатков стабилизируются и улучшаются водно-физические свойства, под влиянием фауны орошаемых почв (дождевых червей и др.) образуется новая структура. Особенно значительная микроагрегация почвенных частиц происходит при окультуривании пустынных такыровых почв, содержащих в природных условиях значительную часть ила в дисперсном пептизированном состоянии. При длительном окультуривании малоплодородные почвы пустыни превращаются в высокоплодородные оазисные, повышается их водопроницаемость, улучшаются условия газообмена почвенного и атмосферного воздуха, а также состав почвенной микрофлоры.

Изменение химического и минералогического состава почв. Наряду с поступлением новых веществ с оросительными водами во взвешенном и растворенном состоянии при орошении активизируются и внутрипочвенные процессы. При хорошей дренированности территории под влиянием орошения почвы рассоляются, активизируются благоприятные биологические процессы, способствующие ускорению выветривания почвенных минералов, повышению содержания гумуса и других питательных элементов.

Орошение бессточных или слабодренированных территорий, к которым относятся террасы и дельты рек, древние и современные слабонаклонные подгорные равнины, плоские нерасчлененные или слаборасчлененные древние аллювиальные равнины и низменности, как правило, сопровождается подъемом уровня грунтовых вод, а при стихийном течении этого процесса вторичным засолением и заболачиванием части наиболее низких земель. Для предупреждения таких неблагоприятных последствий сооружают дренажную сеть. Большое значение при общей слабой дренированности территории приобретают узколокальные условия оттока или притока грунтовых вод.

Известно, что многие древние оазисы Средней Азии и Ближнего Востока не имели достаточной дренажной сети, тем не менее орошение в них существовало на протяжении многих тысячелетий и орошаемые почвы производили достаточное количество продовольствия для густого населения оазисов. Орошение в таких оазисах производилось лишь в местах удовлетворительного локального оттока почвенно-грунтовых вод. Такие почвы занимают менее 30—40% общей площади оазисов. Остальная часть поверхности оазисов использовалась экстенсивно и выполняла роль «сухого дренажа». В настоящее время ирригационное освоение ведется одновременно со строительством дренажных систем; там, где этот принцип нарушается, выпадает значительная часть орошаемых земель.

В составе взвесей на поля поступает значительная часть слабовыветрелых минералов. Почвы каждого оазиса Средней Азии наряду с общими чертами минералогического состава (повсеместное участие кальцита и других карбонатов, обогащенность слюдами, полевыми шпатами, слабая окварцованность) имеют и значительные различия, что заметно даже при сравнении наносов разных рек по цвету. В целом для Средней Азии характерна очень слабая выветрелость минеральной массы, состоящей на 40—70% из частиц размера пыли. Характерно богатство как первичными, так и вторичными формами карбонатов, выделениями гипса.

Для всех среднеазиатских орошаемых и неорошаемых почв характерно высокое содержание среди тонкодисперсной фракции гидрослюдистых минералов. По этой причине орошаемые почвы Средней Азии часто ма-

лоотзывчивы на калийные удобрения; потребность в калийных удобрениях проявляется только при получении очень высоких урожаев хлопка-сырца, когда возрастает вынос питательных элементов и повышается потребность в наиболее легко усвояемых формах.

Среди глинистых минералов орошаемых почв Средней Азии широко распространены и так называемые смешаннослойные минералы монтмориллонит-гидрослюдистого, монтмориллонит-каолинитового состава, которые характеризуются несколько более высокой дисперсностью по сравнению с гидрослюдами и более высокой емкостью обмена катионов. Отмечено также присутствие в почвах в качестве примесей и других минералов, таких, как каолинит, хлорит, палыгорскит, сепиолит.

Малая гумусность почв и преимущественно гидрослюдистый состав минералов илистой фракции обусловливают малую емкость обмена почв, обычно колеблющуюся в интервале 6—15 мг·экв. на 100 г почвы. В составе поглощенных катионов орошаемых почв преобладает кальций, но значительная доля приходится и на магний. Высокое содержание магния (40—50% суммы поглощенных оснований) часто считается одной из причин неудовлетворительных физических свойств орошаемых почв. Солонцеватые почвы с поглощенным натрием — явление редкое для орошаемых почв Средней Азии, где оросительные воды, как правило, богаты кальцием. Поэтому содержание поглощенного натрия в орошаемых почвах обычно всегда меньше 7—8% суммы поглощенных оснований; 60—70% приходится на поглощенный кальций.

Районы древних оазисов всегда были густо населены; там концентрировались биогенные элементы, входящие в состав продуктов питания человека, а также в состав фуража и топлива. Продукты минерализации растительного вещества и животного оставались на месте вследствие сухости климата. Поэтому в местах древних поселений в почвах скопилось большое количество селитры, фосфорных соединений, калия и других (до 1—3% $NO_3$, до 0,5% $P_2O_5$, 1—2% водорастворимого калия). В прошлом землистые массы по этой причине рассматривались как ценные удобрения.

Ирригационные и хозяйственные факторы оказывают влияние и на общие запасы питательных веществ в орошаемых почвах, и на их формы, доступные для

растений. Наиболее определенно выявляется зависимость в валовом содержании веществ от механического состава почв и ирригационных отложений. Валовые запасы гумуса, азота, фосфора и калия при прочих равных условиях находятся в прямой зависимости от содержания ила в почвах. Обычно чем выше содержание ила, тем больше содержится питательных веществ. Однако эта зависимость нарушается для почв, подверженных засолению, где валовые запасы гумуса, азота снижаются, хотя содержание нитратов и калия может быть высоким.

Другим фактором, обусловливающим неравномерное распределение запасов питательных элементов в орошаемых почвах, является разная интенсивность земледельческого использования почвы. Почвы постоянного орошения всегда богаче гумусом и другими питательными элементами по сравнению с почвами переложного, нерегулярного использования. Экстенсивное использование как фактор, воздействующий на запасы питательных элементов, сочетается обычно с другими неблагоприятными процессами — засолением, коркообразованием, сплыванием почв. Экстенсивное использование почв в сочетании с периодическим опустыниванием в периферийных районах оазиса сопровождается разрушением гумуса и фиксацией фосфорных и калийных соединений, переходом их в недоступные для растений формы. Почвы экстенсивного использования часто нуждаются не только в азотных и фосфорных, но и в калийных удобрениях.

Почвы, формирующиеся при близком залегании грунтовых вод, если они не подвержены засолению, как правило, всегда богаче гумусом и другими питательными элементами, чем почвы, формирующиеся при глубоком уровне грунтовых вод.

Под влиянием орошения создаются более благоприятные условия для полезной почвенной фауны и микроорганизмов, особенно в пустынных почвах. Большое значение имеет появление и увеличение числа аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий и азотобактера. Большую роль в почвообразовании при орошении играют дождевые черви. В неорошаемых сероземах количество дождевых червей обычно не превышает 0,7 млн. особей на 1 га, в орошаемых их количество колеблется от 1,5 млн. до 5 млн. В пустынных почвах

дождевых червей нет, а в орошаемых их количество достигает 1 млн. на 1 га под хлопчатником и 2—4 млн. особей на 1 га под травами.

Благодаря повышению общего уровня плодородия почв под влиянием удобрений и орошения, повышению уровня агротехники, а также борьбе с вредителями и болезнями растений урожаи хлопчатника за годы Советской власти возросли в среднем с 10 до 30 ц/га. На хорошем мелиоративном фоне, при правильном применении минеральных и органических удобрений урожаи в целом ряде областей подняты до 35 ц/га. Но и сейчас самые высокие урожаи — 45—50 ц/га хлопка-сырца — получают при применении комплекса минеральных, органических и землистых удобрений.

## Орошаемые почвы и их классификация

### *Строение почвенного профиля*

Состав и свойства орошаемых почв зависят от природных и ирригационно-хозяйственных условий, а также от давности орошения. Под влиянием орошаемого земледелия образуются агроирригационные, окультуренные и пахотные горизонты со специфической структурой, повышенным содержанием гумуса. Водно-воздушный режим поддерживается искусственно, изменяется физико-химический, биологический и питательный режимы почв. Количественная сторона изменений зависит от зональных и гидрогеологических условий. При орошении в большей мере, чем в естественных условиях пустынь, используются энергетические ресурсы (радиационные, тепловые), количество которых зависит от широтного положения оазиса. Это особенно заметно по измененности первичной минеральной массы почв, несмотря на молодость ирригационных отложений, которые все время обновляются с поверхности (слой в 30 см образуется за 200—400 лет).

Орошаемые почвы Средней Азии имеют песчано-пылеватый и иловато-пылеватый состав, они высококарбонатные, с преобладанием в составе илистой фракции гидрослюдистых минералов; в более южных районах в составе почв появляются смешаннослойные монтмориллонит-гидрослюдистые образования. Малая гумусность (1—2,5%) и преимущественно гидрослюдистый состав

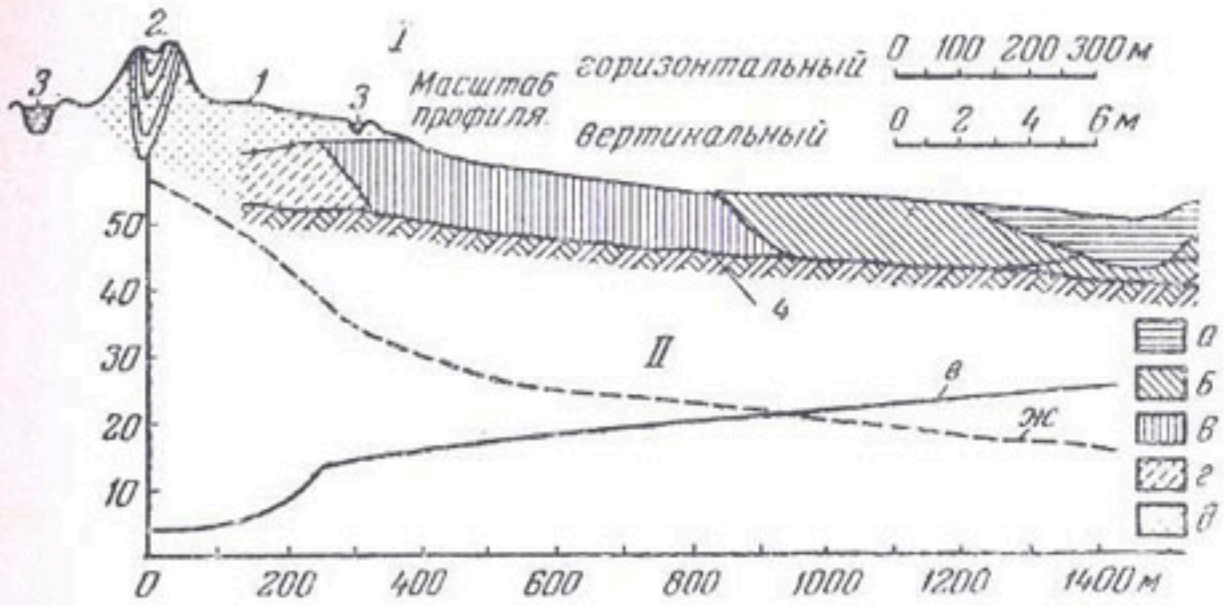


Рис. 2. Распределение и состав ирригационных отложений.

*I*. Строение поперечного профиля к каналу: *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.

определяют низкую величину емкости обмена, обычно всегда ниже 15 мг·экв. на 100 г почвы.

Структура почвенного покрова на орошаемой территории определяется расположением ирригационной сети и качеством оросительных вод, глубиной и минерализацией грунтовых вод. В верхних частях ирригационных систем и вдоль каналов образовались более легкие почвы, в нижних частях, на склонах и понижениях мезорельефа состав почв утяжеляется.

От положения почвы по элементам ирригационного рельефа и характера их использования зависит содержание и других компонентов почвы: гумуса, азота, подвижных питательных элементов (табл. 2).

Наиболее плодородные почвы формируются в верхней (но не на приканальных супесях) и средней частях ирригационных склонов (рис. 2), находящихся в постоянном использовании. Приканальные части, куда сгружают ил при очистке каналов, межканальные понижения и периферические части систем используются экстенсивно, подвержены засолению и другим неблагоприятным воздействиям. Строение почвенного профиля зависит и от давности орошения. Для староорошаемых почв характерно следующее строение.

1. На поверхности почвы тонкая корочка, которая образуется после полива; после высыхания она стано-

Таблица 2. **Содержание С гумуса, общего азота и подвижного фосфора и калия в орошаемых почвах Мургабского оазиса**

| № разреза | Глубина, см | С гумуса, % | N общий, % | C:N | Подвижные, мг/кг $K_2O$ | Подвижные, мг/кг $P_2O_5$ | Содержание частиц <0,01 мм, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Орошаемые супесчаные почвы приканального повышения | | | | | | | |
| 454 | 0—5 | 0,35 | 0,04 | 8,7 | 170 | 46 | 14 |
| | 10—15 | 0,33 | 0,04 | 8,3 | 170 | 48 | 11 |
| | 20—25 | 0,33 | 0,05 | 6,6 | 170 | 38 | 13 |
| | 30—35 | 0,36 | 0,04 | 8,1 | 170 | 74 | 14 |
| | 40—45 | 0,32 | 0,03 | 10,7 | 170 | 42 | 10 |
| | 50—55 | 0,09 | 0,02 | 4,5 | 150 | 15 | 5 |
| | 70—75 | 0,12 | 0,01 | 12,0 | 150 | 10 | 5 |
| Древнеорошаемые суглинистые почвы средней части поля | | | | | | | |
| 449 | 0—5 | 0,71 | 0,09 | 7,9 | 120 | 30,4 | 35 |
| | 10—15 | 0,60 | 0,07 | 8,6 | 130 | 25,6 | 34 |
| | 20—25 | 0,59 | 0,07 | 8,4 | 130 | 18,4 | 32 |
| | 30—35 | 0,38 | 0,06 | 6,3 | 130 | 15,2 | 32 |
| | 40—45 | 0,28 | 0,05 | 5,8 | 130 | 9,6 | 33 |
| | 50—55 | 0,26 | 0,03 | 8,7 | 120 | 9,6 | 40 |
| | 70—75 | 0,22 | 0,04 | 5,5 | 120 | 6,4 | 49 |
| | 90—95 | 0,23 | 0,03 | 7,7 | 120 | 6,4 | 44 |
| Древнеорошаемые тяжелосуглинистые почвы нижней части поля, подверженные засолению, периодически промываемые | | | | | | | |
| 448 | 0—5 | 0,85 | 0,11 | 7,7 | 230 | 88,0 | 45 |
| | 10—15 | 0,70 | 0,08 | 8,8 | 240 | 25,0 | 45 |
| | 20—25 | 0,58 | 0,08 | 7,3 | 240 | 18,0 | 48 |
| | 30—35 | 0,34 | 0,05 | 6,8 | 220 | 7,2 | 50 |
| | 40—45 | 0,28 | 0,04 | 7,0 | 220 | 7,2 | 58 |
| | 50—55 | 0,26 | 0,04 | 6,5 | 210 | 8,0 | 58 |
| | 70—75 | 0,26 | 0,04 | 6,5 | 200 | 7,6 | 57 |
| | 90—95 | 0,24 | 0,02 | 12,0 | 190 | 6,4 | 45 |
| | 125—130 | 0,19 | 0,02 | 9,5 | 190 | 4,4 | 34 |

вится твердой. Мощность ее от нескольких миллиметров до 3 см. Сильнодисперсные и слабоагрегированные почвы могут образовывать более мощную и прочную корку, причиняющую много хлопот земледельцу (обычно это слабоокультуренные варианты орошаемых почв).

2. Пахотный горизонт мощностью 18—30 см (его нижняя граница определяется глубиной вспашки). Он

постоянно перемешивается в результате вспашек, культиваций и жизнедеятельности почвенной фауны. Водные и физические свойства очень динамичны и зависят от времени, прошедшего после полива и обработки, а также от времени, прошедшего после начала вегетационного периода. Нередко к концу вегетации 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 поддерживается 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—30 см морфологически характеризуется заметной уплотненностью, что находит выражение в более высоком объемном весе и меньшей порозности. Нередко горизонт приобретает плитчатую форму агрегатов в результате постоянного давления почвообрабатывающих орудий. Ранее верхнюю часть этого горизонта описывали как плужную подошву. С применением глубокообрабатывающих орудий она 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 периодами окисления, свидетелями чему являются следы в виде ржавых и карбонатных крапинок и полосок. Иногда видны (когда почва высыхает) более крупные расплывчатые карбонатные пятна, что тоже свидетельствует о периодическом переувлажнении почвы. В целом горизонт однородный, с заметным уменьшением плотности в нижней его части.

4. Горизонт древних агроирригационных отложений, мощность его зависит от давности орошения, достигает 1 м и более. Горизонт отличается очень хорошей агрегированностью, порозностью, однородностью, с очень постепенными переходами между слоями. Включает угольки, черепки, обломки строительных материалов и других предметов антропогенного происхождения, попадавших на поля во время обработки или с удобрени-

ями. В почвах южных районов Средней Азии этот горизонт более плотный.

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.

Агроирригационные отложения, повышенно-гумусированные по сравнению с подстилающими материнскими породами и в той или иной степени агрегированные, хорошо биологически переработаны (ходы червей, насекомых и др., заполненные продуктами их жизнедеятельности, многочисленные ходы корней). Мощность повышенно-гумусированного горизонта всегда значительно больше, чем у неорошаемых почв. Профиль формируется по типу аккумулятивного, все время наращивается с поверхности.

При близком уровне грунтовых вод нижняя часть зоны капиллярного насыщения обычно несколько оглеена, включает расплывчатые пятна карбонатов, иногда друзы гипса, по ходам корней ржавые и сизые пятна, а в верхней части по капиллярной кайме нередки выцветы гипса или сульфатов магния и натрия.

### *Ряды почв по увлажнению*

Свойства почв и режим их развития в большой мере зависят от степени дополнительного увлажнения грунтовыми водами, что, в свою очередь, определяется их уровнем и капиллярной проводимостью почвогрунтов. Как уже было отмечено, свойства и проводимость грунтов в разных оазисах различны, а потому и глубина уровня грунтовых вод, с которой они могут влиять на ход развития почв, также неодинакова. Нижеприведенные величины глубин грунтовых вод для рядов почв по гидроморфности касаются в основном пустынных и южных районов Средней Азии (Мургабский, Тедженский, Шерабадский). Для районов полупустынь и почв на лессах с более высокой капиллярной водопроводимостью они должны быть увеличены на 0,5—1 м.

Почти все оазисы пустынной зоны расположены в условиях слабого притока и еще более слабого оттока вод. Это, естественно, бессточные области конечной аккумуляции наиболее подвижных соединений. Основным,

а часто и единственным источником питания грунтовых вод и подпочвенных растворов является фильтрация речных и оросительных вод из русл, с орошаемых полей и мест аккумуляции сбросных вод.

Если до начала освоения почв грунтовые воды залегали глубоко, то с началом орошения без дренажа их уровень очень быстро поднимается. Например, на массиве нового орошения Мургабского оазиса грунтовые воды с глубины 10—30 м поднимались по 1—3, а рядом с каналом и по 4—5 м/год.

Уровень грунтовых вод по орошаемой территории колеблется в очень широких пределах в зависимости от рельефа, литологии, интенсивности орошения, условий питания и разгрузки вод. Он колеблется и во времени в зависимости от поливного режима и расхода влаги на испарение. В бессточных условиях это определяющие факторы баланса грунтовой воды.

При отсутствии дренажа или его недостаточном действии глубина грунтовых вод в пределах старых оазисов пустыни колеблется от 0 до 10 м и более.

Уровень грунтовых вод колеблется также в течение года (амплитуда от 20 см до 2,5 м, редко более), а в течение нескольких лет при переложной системе земледелия амплитуда колебания может достигать 3,5 м и более. Поэтому, если степень гидроморфности почвы определять только по глубине уровня грунтовых вод, то жестких границ между рядами назвать нельзя, так как уровень — величина переменная. При разделении почв по рядам гидроморфности приходится учитывать амплитуду колебания уровня грунтовых вод и принимать во внимание то обстоятельство, что периодически, под влиянием хозяйственных факторов этот уровень может иногда выходить за рамки обычных средних годовых амплитуд.

На основе анализа данных по многолетнему режиму уровня грунтовых вод выделены следующие ряды (табл. 3).

Ирригационно-автоморфные почвы (ряд А). В развитии таких почв грунтовые воды не принимают участия, уровень их всегда глубже 5 м. Источником влаги в почвах служат оросительные воды и в незначительной мере атмосферные осадки.

Такие условия создаются по периферии оросительных систем и на массивах с низкими коэффициентами зе-

Таблица 3. **Классификация и группировка типов оазисных почв пустыни**

| Классы | Ряды по увлажнению (среднегодовая/среднемесячная глубина уровня грунтовых вод) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | А. Ирригационно-автоморфные (глубже 5 м) | Б. Ирригационно-грунтово-гидроморфные (>2,5/2—5 м) | В. Ирригационно-гидроморфные (>1,5/1—3 м) | Г. Ирригационно-переувлажненные (<1,5/0—2 м) |
| | типы почв с режимом устойчивого рассоления | | типы почв с режимом переменного засоления-рассоления | |
| I. Недавноорошаемые | Пустынные недавноорошаемые | Лугово-пустынные недавноорошаемые | Пустынно-луговые недавноорошаемые | Болотно-луговые недавноорошаемые |
| 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 |
| 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. Антропогенные почвы вторичных бугров и низин | 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 |

мельного использования (КЗИ) менее 0,15. Ирригационно-автоморфные почвы также могут быть на массивах с более высокими КЗИ, но с обеспеченным дренажем грунтовых вод, что бывает в верхних частях конусов выноса и подгорных равнин, но они лежат обычно за пределами пустынной зоны. В области пустынь 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, Аму-Бухарского, Каршинского и других каналов, такие почвы были широко распространены в низовьях Мургаба, Теджена, Зеравшана, Кашкадарьи, Шерабада и других рек на границе с песками, где для орошения не хватало воды. После строительства новых каналов ранее сплошная широкая полоса ирригационно-автоморфных почв, окружающая древние оазисы, уменьшается.

Почвы ряда А отличаются от орошаемых почв центральной части оазисов более высоким КЗИ. Первая и очень важная в мелиоративном отношении особенность — ирригационно-автоморфные почвы не подвержены засолению. Из-за низких КЗИ грунтовые воды получают малое питание и амплитуда их уровня 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, уровень грунтовых вод поднимается до 4 м и затем спадает до прежнего равновесного уровня.

Вторая важная особенность — ирригационно-автоморфные орошаемые почвы с грунтовыми водами глубже 5 м 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 и высокой культуре использования содержание гумуса в верхнем горизонте почвы может подниматься до 1,2% и редко более. Качественный состав гумуса этих почв отличается от состава гумуса более влажных почв снижением доли гуминовых кислот и сужением отношения углерода гуминовых кислот и фульвокислот до величин менее единицы, обычно до 0,6—0,7.

Уменьшается (до 4—8) и отношение углерода гумуса и азота. Хотя содержание корневых масс и других

органических остатков в почве остается не меньше, а даже больше, чем в почвах более влажных, так как при глубоком залегании грунтовых вод развиваются более мощные корневые системы, но эти остатки быстро минерализуются, что свидетельствует об ускоренном круговороте веществ по сравнению с более влажными почвами. Органические остатки в них быстрее минерализуются, в почвах больше легкогидролизуемых и растворенных форм азота. По запасам питательных веществ в доступной форме такие почвы не уступают более влажным.

Третья особенность ирригационно-автоморфных почв — обычно меньшая микроагрегированность и большая склонность к образованию корки, а очень часто и слитность почв, благодаря чему они имеют пониженную фильтрационную способность. Почвы ирригационно-автоморфного ряда, приуроченные к периферийм ирригационных систем, имеют более тяжелый механический состав, который усиливает проявление неблагоприятных водно-физических свойств, что особенно ярко выражено в межканальных понижениях. В связи с этим почвы этого ряда нуждаются в улучшении водно-физических свойств, что достигается агротехническими мерами. Ранее земли, где развиты такие почвы, т. е. орошаемые нерегулярно, относили к числу условно поливных.

Ирригационно-грунтово-гидроморфные почвы (ряд Б) развиваются преимущественно под влиянием увлажнения оросительными водами, но подпитываются в нижней части почвенного профиля грунтовыми водами.

Эти почвы образовались на территориях, где орошение ведется при низких КЗИ, не превышающих 0,25, но обычно и не менее 0,10. 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. Ирригационно-грунтово-гидроморфные почвы были широко распространены в сухих дельтах Мургаба, Теджена, Кашкадарьи, Шерабада и других оазисах, где орошение было рассредоточено по территории. Эти почвы понижений при низких КЗИ и почвы повышений при повышенных КЗИ. Среднегодовая глубина залегания грунтовых вод более 2,5 м, среднемесячная может колебаться в интервале 2—5 м

от поверхности почвы. Для ирригационно-грунтово-гидроморфных почв характерна большая амплитуда уровня грунтовых вод — 1,5—2 м в год.

Расход грунтовой воды на испарение и транспирацию покрывает 10—25% общего расхода воды на поле. Обычно эта влага потребляется корнями растений, так как расход на испарение с поверхности почвы осуществляется за счет оросительных вод.

Даже при небольшом превышении норм поливных вод над влагоудерживающей способностью почв происходит вымывание солей из них. 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 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, она менее подвержена разрушающему действию опустынивания. Когда эти почвы остаются в перелог, они покрываются буйной переложной растительностью, которая получает влагу от грунтовых вод. Чаще всего это заросли верблюжьей колючки, которая имеет мощную разветвленную корневую систему и является азотфиксатором.

Ирригационно-грунтово-гидроморфные почвы лучше микроагрегированы, чем почвы ряда А, они менее подвержены коркообразованию, имеют лучшие водно-физические свойства.

По легкости регулирования солевого и водного режимов ирригационно-грунтово-гидроморфные почвы от-

носятся к числу лучших почв оазиса. При орошении на них устанавливается устойчивый режим рассоления даже при очень небольшом превышении нормы полива над дефицитом влаги в почве.

Условия питания растений влагой на этих почвах складываются наилучшим образом. Если уровень залегания грунтовых вод обязан 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 уровнем грунтовых вод и солевым режимом.

Ирригационно-гидроморфные почвы (ряд В) развиваются при среднегодовом уровне грунтовых вод на глубине от 1,2 до 2,5 м от поверхности, среднемесячный уровень колеблется от 1 до 3 м. Грунтовые воды периодически смачивают почти весь профиль почвы, а в периоды их высокого стояния — верхнюю и среднюю часть почвенного профиля.

Ирригационно-гидроморфные почвы больше всего развиты в средних частях ирригационных систем и развиваются без дренажа при высоких КЗИ — 0,3—0,5, а при дренаже при более высоком КЗИ они занимают больше всего средние части ирригационных склонов, иногда поднимаясь на верхние и опускаясь на нижние части склонов. Можно сказать, что в условиях плохой естественной дренированности эти почвы составляют основной фон в оазисах пустынь.

Близкое залегание грунтовых вод способствует большому расходу их на испарение и транспирацию. 30—60% общего расхода почвенной влаги покрывается за счет подачи почвенной влаги от грунтовых вод, в свою очередь, при поливах и промывках верхние 2—3 м грунтовой воды формируются за счет стекания разбавленных почвенных растворов. Таким образом, в этих почвах почвенные растворы и верхние слои грунтовых вод становятся единым генетическим образованием с активным обменом солей.

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 более значительное и достигает 1,5 м в результате 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 в этом случае приходится вести в переложной системе, используя сухой дренаж. Неорошаемые участки служат аккумуляторами солей. В целом при отсутствии дренажа почвы и грунтовые воды орошаемого массива все время засоляются на величину притока солей, поступающих с оросительными водами. Эти соли аккумулируются 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 незасоленные орошаемые почвы этого ряда характеризуются повышенной гумусированностью (1,5—2%), в составе гумуса повышается доля гуминовых кислот. Запасы питательных элементов иногда высоки, но малодоступны, и почвы нуждаются в удобрениях, особенно в фосфорных и азотных. Калием почвы, как правило, обеспечены. Подверженные засолению почвы обычно имеют плохие водно-физические свойства, нижние части их профиля повышенно-закарбоначенные, нередко содержат и гипс, хотя и немного.

Ирригационно-гидроморфные почвы подвержены сезонному засолению, они нуждаются в постоянном солевом контроле и промывных режимах орошения. Массивы таких почв нуждаются в усилении дренажа грунтовых вод.

Ирригационно-переувлажненные почвы (ряд Г) избыточного увлажнения и заболоченные, формируются вследствие чрезмерно близкого к поверхности уровня грунтовых вод, среднегодовая глубина которого выше 1,2 м, по месяцам она колеблется от 0 до 2 м. Эти почвы приурочены к нижним частям полей, межканальным и внутриоазисным понижениям. Чем хуже естественная дренированность оазиса и выше КЗИ без искусственного дренажа, тем большую площадь в оазисе занимают переувлажненные и заболоченные почвы.

Рассматриваемые почвы не орошаются или орошаются нерегулярно, большая их часть относится к неорошаемым и бросовым землям. Питание грунтовых вод и почвенных растворов происходит в основном за счет

подтока грунтовых 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 этих понижениях. Водопроводимость глинистых почвогрунтов, выполняющих понижения, низкая, поэтому колебание уровня грунтовых вод тоже небольшое, обычно меньше 1 м, а чаще 0,4—0,7 м.

Среди оазисных почв выделяются понижения, которые дополнительно к грунтовому увлажнению затапливаются сбросными водами, и в этом случае верхние горизонты могут быть промыты от солей. Среднегодовой уровень грунтовых вод в них выше 0,5 м. Они не орошаются, это бросовые земли. 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 части сбросными поверхностными водами.

### *Классы оазисных почв*

Под влиянием орошения изменяется режим развития пустынных почв. С начала освоения эти изменения происходят под влиянием мелиораций и выражены наиболее резко: щелочные почвы приобретают реакцию, близкую к нейтральной, засоленные почвы рассоляются, бедные питательными элементами получают необходимые для растений запасы веществ, заболоченные осушаются, сухие пустынные становятся равномерно влажными и т. д., т. е. с началом орошения это уже совершенно иные почвенные образования, развивающиеся в новом режиме на исходных почвах, которые служат теперь материнской породой. По режимам они выделяются на уровне новых типов почвообразования.

В последующем с развитием орошения свойства и состав почв изменяются постепенно. Нарастание количественных изменений приводит к образованию качественно новых почв. Качественные ступени в развитии оазисных почв выделяются на уровне классов, этим самым в

основу классификации положены не условия образования, а состав почвы с их качественно неповторимыми в каждом другом классе свойствами.

Выделено шесть качественно разных классов оазисных почв (см. табл. 3).

I. Недавноорошаемые почвы с неустановившимся режимом почвообразования.

II. Оазисные орошаемые почвы с установившимся режимом почвообразования.

III. Древнеоазисные орошаемые почвы на искусственных агроирригационных отложениях.

IV. Оазисные залежные, 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.

Недавноорошаемые почвы объединены в один класс по очень важному показателю — неустановившемуся режиму почвообразования. В составе этого класса могут быть почвы любого природного происхождения, свойства которых приведены в соответствие с требованиями сельскохозяйственной культуры и орошаемого земледелия, обеспечивающие получение урожая. В процессе орошения недавноорошаемые почвы по условиям гидроморфности могут переходить из одного ряда в другой, что влечет за собой изменение интенсивности солевых и других почвообразовательных процессов. Происходит дифференциация почвенного покрова под влиянием разных сочетаний природных условий залегания почв и их ирригационно-хозяйственного использования. Режим почвообразования изменяется до тех пор, пока ирригационно-хозяйственные факторы не придут в соответствие с природными условиями каждого участка орошаемой территории и почвенные процессы приобретут равновесный характер.

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 в зависимости от природных и ирригационно-хозяйственных возможностей стабилизации почвенных процессов на уровне, благоприятном для сельскохозяйственного ис-

пользования земель. При неблагоприятном сочетании длительность мелиораций может растянуться на многие десятилетия, в процессе которых придется видоизменять использование почв, мелиоративными средствами противостоять их изменению в неблагоприятную сторону.

При благоприятном сочетании условий и правильном планомерном освоении на первую стадию, переходную к оазисному почвообразованию, может потребоваться всего 20—30 лет, из них 3—10 лет на мелиоративный период и еще 15—20 лет на закрепление результатов мелиорации, стабилизацию гидрогеологических условий, окультуривание почв, введение севооборотов, стабилизацию режимов орошения и всего комплекса организации и правильного использования земель.

При стихийном освоении новых земель стабилизация процессов оазисного почвообразования происходит значительно дольше (может быть, столетия). Приходилось опытом устанавливать и выявлять наилучшие почвы и места их расположения в ирригационно-природном комплексе, где процессы почвообразования складывались благоприятно и позволяли длительно их использовать под орошаемую культуру. Почвы же, подверженные засолению, заболачиванию и ухудшению физических свойств вследствие заиления, осолонцевания и других причин, приходилось либо забрасывать, либо вкладывать все новые средства на их мелиорацию. В большинстве старых оазисов пустынной зоны стабилизация процессов достигалась ценой выпада части земель из орошения и расхода дополнительных средств на поддержание удовлетворительного солевого режима орошаемых почв.

Недавноорошаемые почвы после начала освоения отличаются от природных, на которых они формируются, тем, что поверхность их спланирована, при этом почвенный профиль на части поверхности нарушен срезкой или засыпкой верхней части профиля. При подготовке к орошению почвы промыты от солей не менее чем на 60 см до уровня ниже токсичного для культурных растений содержания солей. С началом орошения почвы очень быстро обогащаются микрофлорой.

В дальнейшем после посева культур-освоителей, введения севооборотов, а также под влиянием вспашек, внесения удобрений и других агротехнических и мелиоративно-ирригационных приемов улучшается микроаг-

регатный состав почв, они несколько утяжеляются по механическому составу, обогащаются гумусом, полностью освобождаются от токсичных солей, и формируется новый генетический окультуренный горизонт. Эти процессы происходят очень медленно. Мощность окультуренного слоя на этой стадии не выходит за пределы пахотного. Быстрее происходит изменение почв по влажности вследствие перехода ее из одного ряда по гидроморфности в другой — более высокого увлажнения.

Характерная особенность недавноорошаемых почв — неустановившийся режим почвообразования — больше всего проявляется в том, что по мере подъема уровня грунтовых вод появляются почвы все новых рядов по гидроморфности. На вновь орошаемых пустынных почвах эти ряды могут рассматриваться как последовательные этапы установления почвенных режимов в новых условиях. В развитии недавноорошаемых почв выделяются по меньшей мере три этапа.

I этап (начало освоения). В составе почвенного покрова появился новый тип пустынной недавноорошаемой почвы автоморфно-ирригационного режима.

II этап. Площади пустынных неорошаемых и недавноорошаемых почв сокращаются вследствие подъема уровня грунтовых вод и появления новых ирригационно-грунтово-гидроморфных и ирригационно-гидроморфных рядов: лугово-пустынной и пустынно-луговой недавноорошаемых почв.

III этап. Происходит дальнейшее увеличение гидроморфности почв, в низинах появляются ирригационно-переувлажненные болотные и болотно-луговые почвы, усиливается засоление, появляются вторичные солончаки. В дальнейшем устанавливается равновесие в поступлении и расходе воды на массиве на возможно высоком для данных условий уровне. Путем дренажа процесс может быть стабилизирован раньше, чем приход воды будет уравновешен испарением, и исключено появление болотных почв и солончаков. Это одна из важнейших задач гидромелиораций — предупредить развитие почв третьего этапа, снимать избыток вод с помощью дренажа, не давая грунтовым водам испаряться через почвы. В старых оазисах такого дренажа не было. Глубокий дренаж — достижение нашего времени.

Итак, недавноорошаемые почвы имеют особый режим почвообразования, который коренным образом от-

личает их от природных. Почвенный профиль нарушен, появился пахотный горизонт, который создан из гумусового слоя или смешанной при планировках массы разных слоев, измененной мелиоративными и агротехническими мерами. Неблагоприятные для сельскохозяйственных растений свойства природных почв при этом устранены искусственно. Водный, питательный, физический и физико-химический режимы после освоения поддерживаются искусственно. Характерен неустановившийся режим почвообразования. С подъемом уровня грунтовых вод почвы переходят в ряды более высокого ирригационно-грунтового увлажнения и появляются почвы всех рядов гидроморфности. Стабилизация завершается приобретением равновесного характера ирригационно-грунтового увлажнения на всем массиве нового освоения, чему соответствует и равновесный характер структуры почвенного покрова. Стадия недавноорошаемых почв завершается приобретением для каждого вновь проявленного типа уровня гумусированности почвы, характерного для данной зоны и механического состава.

Оазисные почвы. Формируются они на территориях, где в результате длительного орошения процессы почвообразования достигли стабилизации, создав новый генетический горизонт из агроирригационных или ирригационных отложений, мощность которого выходит за пределы пахотного слоя, но не опускается ниже 60—80 см.

Состав, свойства этого горизонта и водно-солевой режим почвы определены ее положением в системе сочетания ирригационно-хозяйственных и природных условий. Структура почвенного покрова на стадии оазисного почвообразования тоже определена, все типы почвообразования при данном сочетании природных и хозяйственных условий проявились и заняли свое место в пространстве. При дальнейшем течении процесса развития орошаемых почв возможно только изменение в границах и площадях отдельных почвенных типов, если не произойдет какого-либо стихийного явления или 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 КЗИ более 0,5—0,6 обычно неустойчив; увеличение площади орошаемых земель ограничивается подъемом грунтовых вод и выпадом части земель из оборота. Более устойчиво использование земель при КЗИ, равном 0,3—0,4. Неорошаемые земли служат сухим дренажем, они занимают наиболее низкие поверхности. Более низкие КЗИ определяются уже малой водообеспеченностью, недостатком оросительных вод. В оазисах КЗИ обычно уменьшается от центральных его частей, где больше всего орошаемых почв, к периферии, где площади орошения ограничены недостатком воды.

С уменьшением КЗИ уменьшаются (вплоть до полного исчезновения) и площади переувлажненных почв и ирригационно-гидроморфных, преобладающее место занимают ирригационно-грунтово-гидроморфные и ирригационно-автоморфные почвы в сочетании с неорошаемыми.

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 все более сводится на нет.

Почвы класса оазисных обладают всеми присущими культурному почвообразованию признаками: они повышенно-гумусированные по сравнению с природными пустынными и недавноорошаемыми почвами, причем степень гумусированности в отличие от недавноорошаемых находится в соответствии с ее механическим составом, степенью гидроморфности и уровнем культуры орошаемого земледелия; улучшились их 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 засоляющихся почв при отсутствии искусственного дренажа.

Древнеоазисные почвы сформировались на землях домонгольского освоения. Этот класс объединяет орошаемые почвы, профиль которых полностью сформирован на агроирригационных отложениях. Мощность

последних всегда выходит за пределы 80 см, обычно это 1,5—3 м, они покрывают чехлом территории, орошение которых началось тысячелетия назад.

В составе агроирригационных отложений можно видеть слои, образовавшиеся при разных системах ирригации. 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 наследовал накопленные изменения за предыдущую историю ирригации. Каналы всегда проводились по самым высоким поверхностям, чтобы занимать командное положение по отношению к орошаемым почвам, поэтому в принципе больших изменений в распределении ирригационных наносов и растворенных веществ по орошаемой территории не происходило. За тысячелетия сформировался совершенно своеобразный чашечный рельеф поверхности, определивший использование почв, расположенных на разных его элементах, условия питания и разгрузки грунтовых вод и степень гидроморфности почв разных элементов ирригационного рельефа.

Реконструкцию ирригационных систем и мелиоративные работы (а в них нуждаются все древнеорошаемые земли) приходится проводить с учетом последствий древней ирригации на литологию почв, структуры почвенного покрова, особенностей размещения почв разных рядов гидроморфности и, что очень важно, с учетом измененности гидродинамически-геохимической структуры верхней, по крайней мере 15-метровой толщи грунтовых вод, состав и режим которых обязаны влиянию 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 условиями в сочетании с природными при ведущем значении первых.

Структура почвенного покрова по рядам гидроморфности древнеорошаемых почв существенно не отличается от оазисных почв, но различия между отдельными типами выражены более резко и проявляются более глубоко, хотя в принципе верхний окультуренный слой тех и других имеет одинаковый возраст (это наиболее моло-

дые агроирригационные образования) и в равной мере находится в сфере влияния современного орошаемого земледелия. Их различия обусловлены исходно разными условиями почвообразования, влияние которых продолжает проявляться через разную литологию средней и нижней части почвенного профиля, разные гидрогеолого-геохимические условия проявления солевых режимов и другие факторы древнеирригационного происхождения.

Оазисные залежные почвы. Со стабилизацией почвенных процессов при длительном орошении в бездренажных условиях (или при недостаточном дренаже грунтовых вод) часть орошаемых почв засоляется, заболачивается и вначале периодически на короткое, а потом на все более продолжительное время исключается из орошения. Эти почвы расположены в наименее благоприятных мелиоративных условиях, занимая места локального притока и разгрузки почвенных и грунтовых вод.

Особенность оазисных залежных почв — наличие агроирригационного горизонта той или иной мощности, когда-то биологически переработанного, перемешанного при обработках, обычно тяжелого механического состава вследствие их залегания в местах сбора наиболее тонких частиц из оросительных вод. Эти почвы часто занимают межканальные понижения и заброшенные участки в периферийных частях ирригационных систем, которые характеризуются неблагоприятными условиями орошения из-за нарушения микрорельефа или плохих водно-физических свойств. В периферийных частях выпавшие из орошения почвы тоже чаще приурочены к межканальным понижениям, выполненным тяжелыми ирригационными наносами, и нередко засоляются поверхностными водами.

Претерпев влияние орошения в предыдущую стадию своего развития и занимая определенное положение в ирригационном ландшафте, эти почвы не только наследуют последствия старого орошения, но продолжают развиваться в особых условиях, отражающих режимы полива и подтока вод со стороны орошаемых полей и ирригационной сети. В их строении, составе, режимах наблюдаются совершенно иные, чем в оазисных орошаемых или в природных почвах, черты, по которым их необходимо выделять в особый класс оазисных почв — неоро-

шаемых залежных. 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 которых зависит от положения почвы в ряду по гидроморфности и степени засоления: наиболее распространены на незасоленных почвах с грунтовыми водами на глубине более 3, но не более 10 м от поверхности почвы верблюжья колючка, при более близких грунтовых водах различные солянки, на заболоченных и периодически промываемых сбросными водами участках тростник.

При переустройстве ирригационной сети и сооружении дренажных систем эти почвы могут быть мелиорированы и вовлечены в орошение. Это большой резерв орошаемого земледелия, площади их занимают 30% общей площади земель в контуре оазиса, а иногда и более.

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. Это почвы неудобных для орошения земель с неровным рельефом поверхности. Они занимали до 10, иногда и до 15% общей площади оазиса. К этому классу относятся почвы на рашах (супесчано-песчаные иловатые отложения, которые накапливаются при чистке каналов) в приканальной полосе. По мере того как эксплуатация русла канала затруднялась и их забрасывали, рядом строили новое русло. Местами можно видеть по 3—5 идущих рядом друг с другом старых русл каналов, эксплуатация которых нарушилась из-за того, что их ложа оказались высоко поднятыми, а русла глубоко врезанными в собственные отложения. Ширина полос такого происхождения от 200—300 м в головной части сужается до нескольких десятков метров в периферийной части ирригационных систем. Раши 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 почв на рашах под влиянием естественных процессов и использования их для выпаса скота и заготовки растений для топлива и корма несколько сглаживается и стабилизируется.

После достижения определенной высоты рашей они нарастают в основном вширь.

Почвы имеют своеобразное строение на искусственно насыпанном и очень слабо перемешанном грунте, сохраняющем свою неоднородность очень надолго. Верхние горизонты несколько обогащаются гумусом, но в небольших размерах, поскольку отсутствие глинистых частиц не благоприятствует закреплению органического вещества, несмотря на обилие органической массы.

Кроме почв на рашах, к этой же группе относятся почвы, сформированные на древних культурных отложениях, образующих многометровые толщи на покинутых местах бывших поселений; все древние оазисы изобилуют ими. 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 др., накапливались вместе с рашами или поверх рашей. Развалины древних крупных городов занимают десятки и даже сотни гектаров. В результате более поздних планировочных работ на орошаемых территориях они обособились и образуют останцовые острова среди орошаемых полей. На продуктах выветривания культурных отложений формируются большей частью солончаковые сухие почвы с редкой растительностью.

В условиях пустыни почвы на культурных отложениях разрушаются и развеиваются постепенно, но очень медленно, так как со временем на их поверхности образуется панцирь из черепков или корка, сцементированная солями, селитрой и хлоридами, которая также несколько препятствует развеиванию. Среди оазисных земель сила ветра меньше, а влажность воздуха выше, чем в пустыне, и дезинтеграция почвенных частиц ослаблена. Имеются поселения, которые заброшены около 2 тыс. лет назад, но образовавшиеся на них почвы нельзя назвать такыровыми, хотя времени для их формирования было достаточно. Они по своей морфологии напоминают скорее облессованные рыхлые пылеватые образования. А такыровые всегда уплотненные, связанные, слитые.

Почвы на культурных отложениях в силу более высокого расположения над окружающими пространствами не могут получать дополнительного увлажнения в виде

токов делювиальных вод, они сами, хотя и очень медленно, но смываются и развеиваются ветром. Эти почвы, так же как и почвы на рашах, можно отнести к очень слабо развитым, и мы их объединили в один класс антропогенных. К антропогенным почвам относятся и образования заиленных водохранилищ и искусственно созданных, периодически пересыхающих мелких озер и депрессий. В наше время наличия мощной техники места расположения антропогенных почв вовлекаются под орошение после сверхкапитальных планировок и срезок многометровых бугров, засыпок понижений.

Остаточные природные почвы. Среди оазиса встречаются почвы, которые не были включены в число орошаемых по причине неровного рельефа, подверженности с самого начала переувлажнению или очень сильному засолению и промывка которых оказалась не осуществленной 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 изменившихся условий атмосферы и усиленного подпитывания их грунтовыми и сбросными водами. Эти почвы тоже являются резервом расширения орошаемых земель, но они требуют специальных мелиораций по улучшению рельефа, капитальным промывкам, усилению дренажа.

### *Типы почв*

В почвоведении основной классификационной единицей является тип почвообразования. Тип почвы выделяется по качественно неповторимым в других типах признакам, свойствам и режимам процессов, что находит отражение и в особом строении почвенного профиля. Для оазисных почв сочетание признаков класса (группы) по генезису в зависимости от культуры и давности орошения с условиями по увлажнению по рядам гидроморфности, определяющим режимы почв, как раз отвечают тем требованиям, которые предъявляются к обоснованию типа. В таблице 3 разные типы почвообразования показаны на пересечении горизонтальных и

вертикальных строк. В первых трех классах типы одного и того же ряда увлажнения различаются мощностью агроирригационных отложений от 0 до 2—3 м и более. Недавноорошаемые почвы не имеют агроирригационного горизонта. Но они имеют вновь созданный в результате планировок и перепашки пахотный горизонт. В его состав попадает почвенная масса из разных генетических горизонтов, которая перемешивается и перераспределяется в пространстве. Таким образом, от целинных почв они отличаются не только режимом, но и морфологией. С накоплением агроирригационных отложений различия почв более очевидны. В ряду одного класса, но разных по гидроморфности почв один тип от другого отличается не только по режиму почвообразовательных процессов, но и по появлению новых горизонтов, по глубине верхней границы горизонта грунтового увлажнения, по разному содержанию гумуса и разной мощности гумусового горизонта или по засолению на той или иной глубине.

Класс оазисных залежных и других неорошаемых почв разделен на типы в зависимости от вышеназванных признаков для первых трех классов орошаемых почв, а также от появления признаков отакыривания, засоления, заболачивания, количественные значения которых не позволяют их объединить с другими типами (болотные, вторичные солончаки и т. д.).

Все эти разделения очень важны в мелиоративном отношении. Использование такой классификации позволяет полнее отразить агропроизводственные и мелиоративные качества почв и планировать по территории меры управления почвенно-мелиоративными процессами, в числе которых, кроме названных выше (солевых и других), окислительно-восстановительные, образование гумуса, продуцирование подвижных форм питательных элементов, структурообразование и микроагрегация почвенных частиц. Каждый тип почвы отличается и строением профиля, и направленностью биохимических процессов и процессов обмена веществом и энергией с окружающей средой.

В зависимости от водообеспеченности, гидрогеологических, дренажных и ирригационно-хозяйственных условий соотношение между типами на разных орошаемых массивах и в разных оазисах разное, отдельные типы почв могут совсем выпадать, если условия для их фор-

мирования отсутствуют, но принципиальный состав почвенных образований и взаимная обусловленность их в расположении по территории оазиса сохранится и может быть обнаружена на всех землях в пределах контура орошаемых земель пустынной зоны. С изменением ирригационно-хозяйственных условий состав типов (или чаще границы между почвенными типами) может изменяться; так, например, сокращены площади оазисно-болотных почв в Хорезмском оазисе после сооружения дренажно-коллекторной сети.

На дальнейшем подразделении почв по более низким таксонам нет возможности остановиться. Это вопрос особый. Но следует отметить полезность разделения орошаемых почв на: 1) мелиорированные, 2) орошаемые и 3) высокоокультуренные.

Мелиорированные почвы образуются в результате проведения капитальных работ на целинных или староорошаемых землях. Мелиорации направлены 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 их число входят 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 мелиорированным почвам следует относить те, которые прошли через цикл мелиораций, исключавших неблагоприятные условия для возделывания сельскохозяйственных культур или ослабивших их действие. В дальнейшем должны быть созданы условия, которые закрепят вновь приобретенные под влиянием мелиорации свойства (например, промывной режим, дренаж засоленных почвенных растворов, введение севооборотов и т. д.) и дополнительно агротехническими, агрохимическими и агробиологическими мерами улучшат плодородие почв. О создании этих условий на практике иногда забывают или не придают ему значения, в результате приобретенные свойства мелиорированных

почв иногда снова ухудшаются. Многочисленны случаи вторичного засоления промытых почв при отсутствии или недостаточной обеспеченности искусственного дренажа почвенно-грунтовых вод, осолонцевания после промывок и др.

К орошаемым относятся почвы, которые не потребовали коренного изменения свойств и условий их развития при освоении под орошение. В их число со стабилизацией условий могут перейти и мелиорированные почвы. При обеспечении условий повышения плодородия и высоком уровне культуры земледелия орошаемые почвы перейдут со временем в высокоокультуренные. Для последних характерна глубокая опресненность почвенного профиля при обеспеченном оттоке грунтовых вод, повышенное содержание в почвах гумуса и питательных элементов, хорошая оструктуренность (для Средней Азии микроструктурность), отсутствие солонцеватости, благоприятные физико-химическая реакция и состав солей в почвенном растворе при концентрации ниже токсического уровня. Такие почвы дают максимально возможные для зоны урожаи.

Малая водообеспеченность территории, неблагоприятные условия дренажа, экстенсивные формы ведения орошения (переложное орошаемое земледелие вследствие засорения орошаемых земель, заражения фитопаразитами, истощения запасов доступных растениям питательных элементов и др.) препятствуют окультуриванию почв. Почвы, формирующиеся в таких условиях, подвержены процессам пустынного почвообразования, которые при глубоком залегании грунтовых вод ведут к отакыриванию и другим формам ухудшения физических свойств, а при близком залегании — к засолению.

# ТРУДНОМЕЛИОРИРУЕМЫЕ ПОЧВЫ, УСЛОВИЯ ИХ РАЗВИТИЯ И ПРИЧИНЫ НИЗКОГО ПЛОДОРОДИЯ

## ПОЧВЫ СТАДИИ РАЗРУШЕНИЯ (ОПУСТЫНИВАНИЯ)

Такыровые почвы в мелиоративном отношении очень разнородны. Среди них есть сравнительно легко и очень трудно осваиваемые под орошение. Термин «такыровые» принят как название типа, объединяющего подтипы такырных (такыровидных) почв и такыров. Этим почвам посвящена обширная литература, и к настоящему времени их географические и мелиоративные особенности изучены. Такыровидные почвы, так же как и такыры, считали малоплодородными. Постепенно с развитием освоительных работ в зоне Каракумского и Каршинского каналов миф о бесплодии такыровых почв был развеян. Но среди них есть действительно неплодородные и трудномелиорируемые, что определяется не столько их такыровостью, сколько составом материнских и подстилающих пород, степенью засоления и гидрогеологическими условиями.

Лучшие такыровидные почвы являются одним из звеньев опустынивания в прошлом гидроморфных почв на аллювиальных и шлейфовых частях подгорных равнин. При естественном ходе развития пустынных ландшафтов такыровые почвы со временем уступают место пустынным песчаным с участками настоящих такыров по понижениям. Но в некоторых условиях, например на шлейфовых частях подгорных равнин (Копетдаг, междуречье Мургаб — Теджен, Самсоновское плато), их развитие может быть неограниченно долгим благодаря периодическому увлажнению стоком селевых вод и поступлению нового материала. Во всяком случае, археологически документально установлен возраст в 4—5 тыс. лет для такыровых почв междуречья Теджен — Мургаб, где в IV—III тысячелетиях до н. э. был Геоксюрский оазис. На аллювиальных равнинах и сухих

дельтах обсыхание идет быстрее и такыровая стадия в эволюции покрова от гидроморфного к автоморфному короче. Но сущность его мало меняется. Такыровидные почвы (за исключением такыров на соленосных породах) из неосвоенных в настоящее время являются лучшими. Их относительно равнинный рельеф, удовлетворительные водно-физические свойства и сравнительно невысокое засоление, приуроченность большей частью к незагипсованным молодым обсыхающим поверхностям делает их доступными для освоения, при котором приходится решать комплекс агротехнических и гидротехнических вопросов.

Опустынивание аллювиальных равнин и отакыривание начинается с прекращения обводнения поверхностным паводковым стоком. Грунтовые воды при этом опускаются, почвы иссушаются и состав твердой фазы почв на некоторое время как бы консервируется. Несколько возрастает засоление вследствие подтягивания растворов от подстилающих грунтов. Различный состав и свойства бывших луговых почв понижений и аллювиальных луговых почв повышений в дальнейшем оказывают разное влияние на скорость опустынивания.

Наиболее легко и быстро разрушаются супесчаные и песчаные почвы гривистых повышений, где тугайная растительность высыхает и изреживается из-за недостатка влаги. На обнажившейся поверхности со временем появляются очаги выдувания. Выдуваемый ветром почвенный материал, слабо сортируясь, отлагается поблизости в виде бугорков.

Луговые почвы понижений разрушаются медленнее, глинистый верхний горизонт, иссушаясь, образует все более мелкие фрагменты и, превратившись в пыль, выносится ветром, обнажая все новые слои менее гумусированных почв. Переотложенная ветром почвенная масса вовлекалась в новые циклы дефляции.

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 более развиваются эолово-аккумулятивные формы: вначале в виде бугров и барханов, а затем, на более поздних стадиях, в виде широких волнистых гряд, ориен-

тированных вдоль господствующих ветров, и межгрядовых понижений, переплетенных песчаными и супесчаными перемычками. При этом поверхность песков постепенно стабилизируется и закрепляется растительностью — илаком, саксаулом и другими псаммофитами.

Процесс опустынивания очень длительный, если судить по тому, что в эоловую переработку была вовлечена аллювиальная толща в несколько десятков метров: из аллювия выносятся почти все пылеватые частицы и ил, эоловые отложения представлены преимущественно фракцией 0,1—0,05 мм, разрушается гумус, выносятся соли. Окисляются закисные формы железа, образуя окрашенные пленки на песчаных зернах. На промежуточных стадиях опустынивания обнаруживаются сцементированные рыжеватые пески. Илистые частицы не выносятся полностью потому, что они с помощью соединений железа оказываются фиксированными на поверхности песчинок в виде пленок, что тоже является результатом пустынного почвообразования.

Появление глинисто-железистых пленок до известной степени сдерживает дальнейшую переработку песков ветром, но не приостанавливает ее полностью, так как пленочные связи при сильном иссушении разрываются, кроме того, глинистые частицы при усиленном увлажнении частично рассеиваются и постепенно смываются в понижения, где образуются такыры.

Появление пленок знаменует собой начало новой фазы пустынного почвообразования, когда появляется возможность какой-то стабилизации поверхности, которая в дальнейшем закрепляется растительностью и выпадающим из растворов кальцитом и гипсом.

Опустынивание глинистых почв шлейфовых частей подгорных равнин и земель древнего орошения, покрытых слоем суглинистых и тяжелосуглинистых почв, идет иначе.

На землях древнего орошения отсутствуют контрасты в рельефе и механическом составе почв, которые на целинных пойменных землях (при их обсыхании) способствовали ускоренному развитию стадии эолово-делювиальной дифференциации почвенной массы. Поверхность почвы, покрытая хорошо микроагрегированными ирригационными наносами, хорошо улавливает атмосферную влагу, покрывается верблюжьей колючкой и другими растениями, которые развивают глубокую кор-

невую систему, доставая влагу из все более глубоких (до 10 м и более) грунтовых вод. Скважность почвы и водопроницаемость под влиянием мощных корневых систем повышаются, атмосферная влага глубже проникает по трещинам в почву. Все это замедляет процесс опустынивания и разрушения почвенного покрова.

В местах распространения засоленных почв вместо верблюжьей колючки (янтака) поселяется более солеустойчивая растительность: солянки, мимозка, парнолистник и др. При иссушении содержание солей в почвах возрастает. С опусканием уровня грунтовых вод соли в корке обезвоживаются, превращаются в пыль и удаляются ветром. Легче других выдуваются сульфаты, которые, обезвоживаясь, превращаются в мелкую пыль (пухляк). Хлориды более гигроскопичны, противостоят развеиванию в период иссушения.

С опусканием уровня грунтовых вод соли остаются в исушенных грунтах и только в верхних 30—60 см почвы пульсируют под влиянием атмосферной влаги; более глубокие слои остаются засоленными.

В слоистых грунтах соли больше накапливаются в тяжелых прослойках и меньше всего в песчаных. Наиболее легко растворимые соли все больше накапливаются в грунтовых водах. Вследствие сезонных или других колебаний уровня, поднимаясь, воды частично растворяют ранее оставленные в грунтах соли. Кроме того, не исключено опускание струй более концентрированных растворов из верхних слоев воды в нижние под влиянием разного удельного веса, чему большое значение придавал А. Т. Морозов.

Когда грунтовые воды опускаются настолько глубоко, что их использование затруднено даже для растений с глубокими корневыми системами, растительность изреживается, меняется ее видовой состав, получает преобладание солянка древовидная, лебеда, мимозка, парнолистник и др., появляются куртинки эфемеров. При этом содержание в почве корневых систем уменьшается в 10 раз, сгорает гумус, ухудшаются физические свойства и снижается водопроницаемость верхнего горизонта почв. Глубина промачивания весной, под янтаком достигающая 140 см, под солянково-эфемеровой растительностью сокращается до 40—60 см. Запасы влаги в 2-метровой толще почв на весенний период уменьшаются.

В дальнейшем почва в своем развитии постепенно переходит в следующую стадию почвообразования, в которую она вступает уже в значительной мере обедненной гумусом, с ухудшенной водопроницаемостью и иссушенными грунтами, еще более засоленными, чем после орошения.

Стадия отакыривания почв начинается после изреживания растительного покрова, когда обнаженная поверхность их сильно прогревается и оказывается не защищенной от воздействия ветра и ливневых дождей. Верблюжья колючка исчезает совсем, аккарак угнетен и отмирает, появляются куртинками эфемеры и однолетние галосуккуленты.

Верхняя часть профиля почвы, не будучи защищенной, периодически обезвоживается до состояния ниже гигроскопической влаги, разрушаются агрегаты и микроагрегаты. В обезвоженном состоянии частицы почвы распыляются, а при увлажнении рассеиваются, образуя суспензии из индивидуальных 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 глубине 60—70 см сходит на нет. Наибольшие изменения проявляются в верхней корке мощностью 2—4 см, которая приобретает порошисто-листоватую структуру при иссушении и превращается в бесструктурную вязкую массу при увлажнении. При неполном иссушении она очень твердая, крепкая. Следы разрушения гидроморфной почвы и появление плитчатой структуры прослеживаются в профиле пустынной такыровой почвы до 40—60 см. Но на формирование такого профиля требуется уже несколько столетий.

Первичные частицы почвы в корковом слое, не будучи связанными в водопрочные агрегаты, подчиняясь силам гравитации и ориентируясь своими базальными плоскостями (для минералов таблитчатой формы) или наиболее широкими частями сколов параллельно поверхности почвы, придают горизонтальную слоеватость всей массе. Горизонтальное расслоение — признак деградации почвы. Периодическое увлажнение, сильное иссушение и обезвоживание глинистых частиц способствуют все более полному и более глубокому распадению агрегатов, переупаковке частиц и новой их ориен-

тации. Все это способствует уплотнению почвенной массы, следствием чего является уменьшение проницаемости и глубины промачивания почвы, а также увеличение стока делювиальных вод.

Резкая смена влажности во время ливней приводит к 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 в ней, придавая ей ноздревато-пористую структуру.

Мощность увлажненного слоя в зимне-весеннее время достигает 40—60 см, а во время отдельных дождей не выходит за пределы 4—8 см. Эта наиболее часто увлажняемая дождевой водой часть профиля и приобретает ноздреватость и слоеватость, которая характерна для отакыривающихся почв. После увлажнения и с началом высыхания корка приобретает бóльшую вязкость при влажности выше 18%, а с высыханием — бóльшую механическую прочность и твердость, которые наиболее высоки при влажности 10—15%. При дальнейшем иссушении прочность корки меньше и она превращается в хрупкую и рыхлую массу. Ветром выносятся пылеватые и иловатые частицы (микроагрегаты, обрывки глинистых пленок). Иловатые частицы при увлажнении пептизируются, рассеиваются и выносятся струями делювиальных вод в понижения. Поверхность микро- и мезоповышений опесчанивается. При сильном ветре обнаженные песчинки тоже передвигаются и аккумулируются вокруг кустов растений и у неровностей на поверхности почвы. Разрыхление почвенных частиц корки ускоряется при перекристаллизации солей ($Na_2SO_4$). Так миллиметр за миллиметром срабатываются все новые слои почвы.

Продолжительность процесса зависит от времени опустынивания, с развитием которого в ландшафте и почвах накапливаются новые свойства, которые со временем несколько замедляют скорость выноса частиц. Причина последнего в том, что по мере опустынивания в почве появляются все более высокодисперсные глинистые минералы, которые образуют коллоидные растворы. Высокодисперсные частицы вмываются в почву, образуя под коркой иллювиальный горизонт. Какая-то

часть глинистого вещества продолжает выноситься с делювиальными водами в понижения.

Высокодисперсная глина в иллювиальном горизонте образует пленки оптически ориентированных глин, которые скрепляют почвенную массу, придавая ей механическую прочность. С поверхности опесчаненная часть корки как бы мульчирует такыровый профиль. При сильном иссушении почва растрескивается на более крупные полигональные отдельности, которые больше противостоят воздействию ветра и смыва. Но в самых верхних нескольких миллиметрах процесс более сильного иссушения, разрушения, диспергации, выдувания и вымывания не прекращается. Он продолжает развиваться, но более медленными темпами.

Стадия отакыривания стабилизирует поверхность, замедляет процесс ветровой и делювиальной плоскостной эрозии, но не приостанавливает его.

Глубже 15—25 см дезагрегация почвенной массы происходит под влиянием солей, сильного прогревания и других процессов. Показателем процессов дезагрегации является плитчатая структура почвенной массы, с глубиной она все менее заметна.

На стадии отакыривания в результате пустынного почвообразования появляются следы заметной дифференциации почвенного покрова. Появляются пространства отакыренных поверхностей с очень редкой растительностью и слоевато-пористой почвенной 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 первую стадию отакыривания большее место занимают отакыривающиеся почвы (около 70%), затем с развитием процесса все большее распространение получают опесчаненные почвы и такыры.

## ТАКЫРЫ

Дальнейшее развитие процесса опустынивания приводит к тому, что значительная часть легких отложений оказывается развеянной; верхние слои ирригационных почв в процессе отакыривания разрушены и почвенная

Рис. 3. Опустыненные земли древнего орошения.

масса пересортирована: пылеватые и иловатые частицы вынесены. Оставшиеся песчаные частицы собираются ветром в бугорки вокруг кустов и других неровностей. В понижениях на делювиальных выносах, обогащенных тонкодисперсной глиной, образуются такыры. Все бо́льшая часть опустынивающейся поверхности опесчанивается.

Процесс отакыривания и запесчанивания поверхности идет непрерывно. Когда площадь, занятая запесчаненными почвами, превышает 40—50% общей опустынивающейся территории и около 30% находится под плоскими поверхностями такыров, общий облик ландшафта очень сильно изменяется по сравнению с территориями, где еще господствуют формы рельефа ирригационного происхождения (рис. 3).

Благодаря дополнительному увлажнению делювиальными стоками вод поверхность такыров, занимающих понижения, слабо подвержена влиянию эолового фактора, на ней постепенно накапливаются делювиальные глинистые отложения. Вследствие запесчанивания поверхности сокращается площадь отакыривающихся почв. Процесс опустынивания в смысле подверженности разрушению и перевеванию ветром на этой стадии еще более замедляется. Песчаные отложения все время перевеваются, и в этот процесс вовлекаются все новые слои

ирригационных и аллювиальных отложений. На поверхности такыров песок не задерживается. Пока они получают дополнительное количество влаги с окружающих пространств, поверхность такыра покрыта коркой, которая не успевает обезводиться до такого состояния, когда почвенная масса начинает крошиться и превращаться в пыль.

При длительном развитии опустынивания, вследствие развеивания окружающих пространств, такыры все меньше получают вод с делювиальным стоком и почвенная масса сильнее иссушается, обезвоживается, начинает крошиться и развеваться ветром. А во вновь образованных понижениях появляются новые очаги такыров. Но площадь такыров с каждым циклом становится все меньше, сокращается до 10—15%. Все большее распространение получают пустынные песчаные почвы. При благоприятном стечении обстоятельств такыры могут оказаться запесчаненными и затем песок закреплен растительностью.

Всю гамму переходов в развитии почв при опустынивании можно было видеть севернее Каракумского канала на Байрамалийской части дельты, где длительность опустынивания к периферии дельты возрастает от 700 до 1,5 и 3 тыс. лет. В этом же направлении возрастает мощность сработанной ветром толщи ирригационных отложений, о чем свидетельствует накопление на поверхности почв черепков, которые ранее были рассеяны в профиле культурной почвы. Чем длительнее опустынивание, тем больший слой почвы развеян ветром, больше скопилось черепков на поверхности и больше площадь запесчаненных почв.

Следуя от массива к массиву с более длительным временем опустынивания, можно наблюдать все большие разрушения прежних почв и большие аккумуляции эоловых отложений, служащих материнской породой для зональных пустынных почв.

Процесс смыва, переноса и выдувания почвенных частиц не просто физический. Прежде чем почвенная масса приобретет способность распадаться на элементарные частицы, должно пройти очень много времени, в процессе которого изменяются физико-химические, химические и физические свойства почв. Ниже дано описание почв по разрезам, заложенным в северной части сухой дельты Мургаба.

Таблица 4. **Механический состав пустынных почв северной периферии Байрамалийской части дельты**

| № разреза, почва | Глубина образца, см | Содержание фракций (в %), 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 | <0,1 | <0,01 |
| 157, такыр на делювиально-но-озерных отложениях | 0—2 | 0,2 | 33,7 | 14,4 | 12,1 | 3,8 | 14,8 | 21,1 | 33,9 | 39,6 |
| | 0—12 | 0,2 | 33,4 | 11,7 | 7,5 | 3,1 | 20,5 | 23,6 | 33,6 | 47,2 |
| | 15—27 | 0,5 | 11,9 | 2,9 | 8,3 | 13,4 | 32,3 | 30,7 | 12,5 | 76,3 |
| | 50—60 | 0,3 | 2,5 | 0,0 | 4,9 | 9,4 | 36,4 | 46,5 | 2,9 | 92,3 |
| | 85—95 | 1,9 | 5,6 | 2,3 | 11,0 | 13,0 | 30,3 | 36,0 | 7,5 | 79,2 |
| | 130—140 | 0,2 | 2,1 | 1,9 | 7,1 | 11,9 | 35,1 | 41,7 | 2,3 | 88,7 |
| | 207—214 | 1,0 | 10,7 | 6,1 | 19,6 | 11,3 | 24,2 | 27,3 | 11,6 | 62,7 |
| | 322—337 | 0,0 | 16,1 | 39,4 | 41,1 | 0,5 | 1,4 | 1,5 | 16,1 | 3,4 |
| 155, пустынная песчаная почва | 0—2 | 0,9 | 77,7 | 12,4 | 4,6 | 0,4 | 0,5 | 3,5 | 78,6 | 4,4 |
| | 2—10 | 0,7 | 80,0 | 10,7 | 2,3 | 0,1 | 0,6 | 5,7 | 80,7 | 6,3 |
| | 15—25 | 0,6 | 75,2 | 11,8 | 4,3 | 0,4 | 2,1 | 5,6 | 75,8 | 8,1 |
| | 52—62 | 0,5 | 82,2 | 10,5 | 0,7 | 0,4 | 0,1 | 5,6 | 82,7 | 6,1 |
| Погребенный такыр | 72—82 | 0,4 | 31,2 | 19,2 | 17,0 | 3,3 | 8,0 | 20,8 | 31,6 | 32,2 |
| 165 (а), ирригационный наносс | 0—10 | 0,1 | 25,5 | 17,9 | 27,2 | 5,1 | 10,2 | 14,0 | 25,6 | 29,3 |
| 165, песчаный нанос | 3—13 | 0,3 | 78,0 | 7,6 | 5,0 | 0,9 | 1,5 | 6,6 | 78,4 | 9,0 |
| | 15—25 | 0,4 | 77,1 | 10,1 | 5,0 | 0,8 | 1,2 | 5,5 | 77,5 | 7,4 |
| Погребенная ирригационная почва | 30—40 | 0,1 | 33,4 | 15,7 | 27,9 | 4,3 | 7,8 | 10,7 | 33,6 | 22,8 |
| | 45—55 | 0,0 | 19,2 | 25,2 | 30,8 | 4,5 | 7,8 | 12,4 | 19,2 | 24,8 |
| | 70—80 | 0,4 | 10,5 | 16,6 | 31,0 | 8,7 | 16,3 | 16,4 | 10,9 | 41,5 |
| | 92—102 | 0,1 | 12,9 | 25,8 | 50,5 | 2,5 | 2,5 | 5,7 | 13,0 | 10,7 |
| | 102—118 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 19,6 | 15,2 | 32,3 | 31,7 | 0,6 | 79,2 |
| | 120—130 | 0,2 | 8,0 | 15,0 | 36,7 | 7,9 | 14,6 | 17,6 | 8,2 | 40,1 |
| | 165—175 | 0,0 | 20,4 | 31,4 | 40,9 | 1,6 | 1,9 | 3,7 | 20,4 | 7,3 |
| | 210—220 | 0,1 | 3,7 | 3,6 | 17,7 | 14,2 | 29,7 | 31,0 | 3,8 | 74,9 |
| | 240—250 | 1,0 | 89,7 | 3,2 | 0,5 | 0,5 | 0,0 | 4,0 | 90,7 | 5,6 |

Хорошо сформированные такыры обнаруживаются на территории массива, заброшенного 1,5—2 тыс. лет назад. Такыр образовался на маломощном слое делювия, который покрывает бывшую лугово-болотную почву на озерно-глинистых отложениях.

По механическому составу (табл. 4) почва исключительно глинистая — до 220 см, содержание частиц размером меньше 0,01 мм — 60—92%. До 40 см несколько опесчанена. Эта же часть сильно засолена.

Верхняя часть такыра почти не содержит легкорастворимых кальциево-магниевых солей и имеет бикарбонатно-хлоридное засоление (табл. 5). В глубоких супесчаных слоях отмечается повышенная щелочность и очень малое содержание в водной вытяжке щелочноземельных оснований. Глинистые слои при высокой обогащенности хлоридами сильно обогащены сульфатом натрия.

Особенности морфологии свидетельствуют о пустынной переработке нижних (глубже 3 м) слоев. Это остатки пустынных почв, которые были вновь затоплены паводковыми водами, затем период опустынивания сменился периодом высокого обводнения, который мы относим к VI—IV тысячелетию до н. э. Следы культуры на этом массиве датированы археологами II тысячелетием до н. э. По данным археологов (Массон, 1959), оазис страдал от заноса песком и был заброшен примерно в середине I тысячелетия до н. э. Затем период опустынивания не прерывался вплоть до наших дней.

Судя по анализам, этот такыр с глубины 4 см сильно засолен хлоридом натрия — результат соленакопления уже позже орошения в пустынных условиях из-за перераспределения солей с капиллярными водами (табл. 5). Верхняя корка имеет повышенную щелочность и сохраняет следы соды. Имеющиеся анализы поглощенных оснований показывают, что верхняя корка осолонцована. Почва содержит 15% поглощенного натрия от суммы катионов.

Такыры, имеющие более мощную оглиненную и сильнодиспергированную верхнюю часть почвенного профиля и обычно более сильнозасоленные, чем такыровидные почвы, в освоении более трудны. Из-за очень низкой водопроницаемости их трудно промыть, они сильно коркуются при подсыхании, имеют очень узкий диапазон физической спелости.

Такыры требуют специальных мелиораций (промывок, окультуривания), но успех освоения во многом зависит от свойств и состава подстилающих пород. Такыры на древних ирригационных отложениях в дельте Мургаба и Теджена, которые в прошлом внушали опасение за успех освоения, к нашему времени практически освоены. Правда, урожаи на них в первые годы были очень низкими — 7—9 ц/га хлопка-сырца. Туркменскими почвоведами (Джумаев, Скосырева, Эщеков, Чарыев, Бессмертный и др.) была разработана система мелиоративных, агротехнических и агрохимических мер по их освоению, главное в которой — промывки, глубокая (до 40 см и более) вспашка, посев культур-освоителей, применение органических и минеральных удобрений, поливы, борьба с коркой.

Такие приемы, как пескование, не всюду дали положительные результаты. Причина этого — разное качество материала, применяемого для пескования. К сожалению, исследователи не всегда указывали, какой песок они применяли, так как его состав обычно не изучался. Но все же можно сделать такой вывод: барханный пустынный песок обычно не дает эффекта, пески же оазисные, а также приканальные раши ускоряли мелиорацию такыров. Причина в том, что в оазисных песках и рашах много активных форм кальциевых солей, содержат они и питательные элементы. Оазисные пески не просто разбавляют такыровую массу, но и оказывают на нее физико-химическое влияние. Механизм влияния песка на свойства такыров не изучен в деталях и не исчерпаны резервы поиска улучшения технологических приемов его внесения. Несмотря на практический успех освоения такыровых почв, научная разработка этой проблемы не снята с повестки нашего времени. Главные массивы такыровых почв еще предстоит освоить (земли IV очереди Каракумского канала, Каршинского канала, Шерабадской степи).

Ставя вопрос о научной разработке, приходится снова обращаться к вопросу о сущности такырообразования. Окончательного ответа на него нет. Дискуссии развертывались вокруг так называемой солончаково-солонцовой сущности такырообразования. В наиболее ярко выраженных такырах Кизил-Арватской равнины, развитых на делюво-пролювии соленосных пород, поглощающий комплекс насыщен ионом натрия. Поэтому плохие

Таблица 5. **Состав водной вытяжки из образцов опустыненных почв периферии Байрамалийской дельты**

| № разреза, почва | Глубина, см | Плотный остаток, % | Щелочность | | $NO_3$ | Cl | $SO_4$ | Ca | Mg | Na | K |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $CO_3$ | $HCO_3$ | | | | | | | |
| | | | мг-экв. на 100 г абсолютно сухой почвы | | | | | | | | |
| 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 | » | 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 | 1,00 | 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 опр. | 7,00 | 7,50 | 1,00 | Нет | 13,9 | 0,07 |
| | 172—175 | 0,61 | 0,16 | 0,68 | » » | 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 | 0,89 | 11,96 | 3,75 | 1,00 | 0,25 | 13,05 | 0,08 |
| | 145—155 | 0,42 | 0,04 | 0,50 | Не опр. | 1,61 | 3,90 | 1,10 | 0,20 | 5,00 | 0,05 |
| 163, такыр | 0—8 | 0,17 | 0,04 | 0,85 | 0,07 | 1,44 | 0,30 | 0,30 | 0,10 | 2,17 | 0,18 |
| | 30—45 | 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 опр. | 0,17 | Нет | 0,30 | 0,20 | 0,43 | 0,05 |
| 155, пустынная песчаная почва | 0—2 | 0,11 | » | 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 | 72—82 | 0,20 | » | 1,00 | » | 1,01 | 0,27 | 0,15 | 0,16 | 2,39 | 0,03 |
| 165 (а), ирригационный наос | 0—10 | 0,08 | » | 0,61 | 0,10 | 0,08 | 0,10 | 0,45 | 0,16 | 0,22 | 0,10 |
| | 3—13 | 0,05 | » | 0,56 | 0,02 | 0,08 | 0,17 | 0,45 | 0,16 | 0,17 | 0,15 |
| 165, песчаный наос | 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 опр. | 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 опр. | 0,59 | 0,58 | 0,40 | 0,01 | 1,22 | 0,07 |

в агрономическом отношении физические свойства такыров связывались с их солонцеватостью. Но уже исследованиями Успанова (1940) было показано, что такыры, сформировавшиеся на опустыненной поверхности древнеамударьинской дельты, не содержат в своем составе поглощенного натрия. Тем не менее морфологически и по всем другим свойствам они не менее яркие, чем солонцеватые такыры. Плохие физические свойства такыров Успанов связывал с 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.

Более поздними исследованиями солонцовая природа такыров то подтверждалась, то опровергалась, в зависимости от объекта исследования. Нельзя, конечно, отрицать тот факт, что такыры на наиболее древних поверхностях всегда в той или иной мере засолены и солонцеваты вследствие их залегания в понижениях и поступления солевых растворов с делювиальными водами. Но наличие среди такыров как засоленных и солонцеватых, так и незасоленных и несолонцеватых и почв разного механического состава свидетельствует о том, что не эти условия являются решающими в такырообразовании.

Фактов накапливалось все больше, а сущность оставалась неясной. Начиная с исследований Болышева, Базилевич (1956) особое значение в такырообразовании стали придавать водорослям, под влиянием которых, как предполагали авторы, происходит разрушение минеральной части почв и их осолодение. Затем, кроме водорослевых, стали выделять лишайниковые такыры, намытые, хаковые и др. Уже этот факт показывает, что водоросли малоответственны за формирование такыров. Кроме того, водорослей очень много на поверхности почв и гидроморфного ряда, в том числе на 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.

Морфологические исследования показали, что глинистая часть такыров независимо от их солонцеватости и количества глинистых частиц высокопептизирована, на поверхности почвенных частиц обнаружена сеть пленок

оптически ориентированных глин, которая является ответственной за плохие водно-физические свойства почв. Суть такырообразования в дезагрегации частиц, потере защитной роли гумусовых пленок (гумус сгорает, не возобновляясь). Было замечено, что с опустыниванием из почвенных растворов и даже из состава поглощенных катионов исчезает магний. В тех же почвах было обнаружено повышенное содержание магниевых силикатов в составе коллоидной фракции. Появилось предположение, что при отакыривании образуется силикатно-магниевый минерал, предположительно палыгорскит. Это предположение подтвердилось специальным рентгенографическим и электронно-микроскопическим методом (Минашина, Градусов, 1972) — в опустынивающихся почвах и такырах обнаружен палыгорскит, причем количество этого минерала с возрастом пустынных почв повышается. Наибольшее количество палыгорскита обнаружено в серо-бурых почвах.

Палыгорскит является поверхностно-активным веществом, пептизирует глинистые минералы даже в солевых растворах. Образованию палыгорскита в такырах благоприятствует дезагрегация и удаление с поверхности первичных минералов пленок гумуса и возможность контакта нагретых почвенных растворов с первичными минералами, изоморфных замещений щелочноземельных элементов (Mg на Ca), появление свободных компонентов кремния и алюминия, которые, соединяясь с магнием, образуют палыгорскит; последний одевает первичные минералы тонкими пленками. Этому процессу благоприятствуют высокие температуры, поднимающиеся на поверхности почв до 50—80°С. По известному правилу, скорость химических реакций с повышением температуры на 10°С удваивается. Образование палыгорскита в карбонатной коре выветривания, по заключению А. Е. Ферсмана (1952), явление обычное. Но скорость этой реакции, очевидно, мала. За пределами 35—45°С эта реакция ускоряется настолько, что дает ощутимые результаты за геологически короткое время (тысячелетие).

Приняв палыгорскитовую концепцию для объяснения отрицательных водно-физических свойств такыров, нам предстоит разработать меры их преобразования, воздействуя на главную причину. Эффективен комплекс агротехнических и физико-химических мелиораций: обо-

гащение почв органическим веществом, внесение активного кальция в освоительный период и повышенных доз азота и фосфора. С окультуриванием палыгорскитово-глинистые пленки исчезают, частички почвы агрегируются. Возможно, палыгорскит при повышенном продуцировании углекислоты в почве и образовании гумусовых кислот разрушается. В почвенных растворах появляется магний.

Таким образом, мелиорация такыров — это комплексное воздействие на минеральную массу, включающее меры рассоления и изменения физико-химических и биологических свойств почвы. Нельзя забывать еще об одном важном обстоятельстве. Комплекс такыровых почв приурочен к землям, не имеющим естественного оттока грунтовых вод. Если даже уровень грунтовых вод перед освоением очень глубокий (15—30 м), с началом освоения он очень скоро поднимается. Это обстоятельство не было принято в расчет при проектировании орошения Каракумского канала. Результаты такого недоучета труднопреодолимы. Освоенные земли на Байрам-Алийском и Хаузханском массиве за 10—15 лет засолились, и теперь приходится строить дренажную сеть в значительно более сложных условиях и тратить средства на промывку и новый цикл окультуривания вторичнозасоленных земель.

## ПЕСЧАНЫЕ ПУСТЫННЫЕ И СЕРОЗЕМНЫЕ ПОЧВЫ

В Средней Азии широко распространены песчаные почвы как в области пустыни, так и среди сероземных почв в зоне подгорных и всхолмленных равнин (Бадхыз, Карабиль). Несмотря на их широкое распространение, они мало изучены.

Песчаные почвы ранее не представляли земледельческого интереса из-за отсутствия источников воды. Кроме того, старая техника не была приспособлена для орошения песчаных почв. Самое главное, уровень технических возможностей вовлечения этих почв под орошение был недостаточным и не было большой экономической необходимости в освоении песчаных почв, поскольку были более плодородные земли.

В настоящее время интерес к песчаным почвам возрастает прежде всего в связи с возросшими техниче-

скими возможностями ирригационного строительства. Большие пространства пустынных песчаных почв уже пересекают магистральные каналы (Каракумский, Аму-Бухарский, Каршинский). Все больше образуется дренажных вод на орошаемых массивах, которые по коллекторам выносятся в пустыню и могут быть использованы на орошение песчаных почв, причем дренажные воды из-за повышенной соленосности непригодны для орошения суглинистых почв, но могут быть применены на почвах легкого механического состава, где легче регулировать солевой режим. Затем, в связи с развитием промышленности по разработке природных богатств — нефти, газа, серы, цветных, благородных и редких металлов и др., в пустынях растут города, население которых нуждается в свежих продуктах питания и смягчении климатических контрастов с помощью искусственного озеленения и др. В этом случае песчаные почвы являются ближайшим резервом орошаемого земледелия и освоения.

Наконец, современная техника орошения и агрохимические методы регулирования питательного режима позволяют обеспечить на песчаных почвах вполне благоприятные условия для выращивания и получения хороших урожаев сельскохозяйственных культур. В этом отношении уже накоплен некоторый опыт у нас и еще больше в других аридных странах с более острым дефицитом ирригационнопригодных земель, например в Алжире, Тунисе, АРЕ и других странах. Все это заставляет больше внимания уделять изучению песчаных почв, их генезису и путям вовлечения их в орошаемое земледелие.

Песчаные почвы в генетическом отношении мало изучены, хотя вопрос о песчаных почвах затрагивали многие исследователи (Дубянский, Гаель, Линчевский, Доленко, Розанов, Лобова, Кимберг, Палецкая, Лавров и др.).

Песчаные почвы распространены на территории с разными высотными отметками, от самых низких, примыкающих к Аральскому и Каспийскому морям, до 700—800 м над уровнем моря. Они встречаются на поверхностях разного возраста и разного происхождения: древнеаллювиальных и приморских равнинах, третичных плато и волнисто-холмистых предгорных равнинах Карабиля и Бадхыза. Последние, по Герасимову (1937),

Таблица 6. **Механический состав опесчаненных почв северо-западной периферии современной Мургабской дельты**

| № разреза, почва | Глубина образца, см | | Содержание фракций (в %), 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 | >0,1 | <0,01 |
| 223, молодая пустынная на эоловых продуктах разрушения луговых почв | 0—2 | | 0,5 | 79,4 | 7,3 | 5,0 | 0,3 | 2,7 | 4,8 | 79,9 | 7,8 |
| | 4—20 | Наве- | 0,5 | 80,7 | 6,5 | 5,4 | 0,2 | 1,9 | 4,8 | 81,2 | 6,9 |
| | 30—40 | яный | 1,5 | 80,6 | 6,4 | 4,0 | 0,2 | 2,5 | 4,8 | 82,1 | 7,5 |
| | 65—75 | слой | 1,8 | 75,1 | 6,1 | 7,2 | 1,2 | 3,1 | 5,5 | 76,9 | 9,8 |
| | 80—90 | | 1,9 | 70,9 | 9,1 | 9,9 | 0,8 | 3,0 | 4,4 | 72,8 | 8,2 |
| | 130—140 | | 2,4 | 80,6 | 3,9 | 5,4 | 1,2 | 2,3 | 4,2 | 83,0 | 7,7 |
| | 170—180 | | 1,8 | 30,7 | 55,3 | 2,9 | 1,2 | 2,7 | 5,4 | 32,5 | 9,3 |
| | 200—210 | | 2,4 | 87,0 | 3,1 | 1,2 | 1,0 | 0,5 | 4,8 | 89,4 | 6,3 |
| 225, пустынная песчаная почва | 0—4 | | 4,2 | 85,4 | 4,6 | 2,2 | 0,3 | 0,2 | 3,1 | 89,6 | 3,6 |
| | 4—14 | | 6,5 | 79,9 | 9,0 | 1,0 | 0,3 | 0,3 | 3,0 | 86,4 | 3,6 |
| | 45—55 | | 2,8 | 82,7 | 7,7 | 2,7 | 0,3 | 0,5 | 3,3 | 85,5 | 4,1 |
| | 80—90 | | 2,4 | 85,5 | 6,3 | 1,3 | 0,3 | 0,3 | 3,9 | 87,9 | 4,5 |
| | 160—170 | | 1,3 | 80,2 | 9,5 | 4,3 | 1,1 | 0,9 | 2,7 | 81,5 | 4,7 |

представляют собой остатки древнего доплювиального плато, разрушенного эрозионными и дефляционными процессами, где дефляция неогеновых и древних пролювиально-аллювиальных отложений обусловили широкое развитие субаэральных песков.

По высотным отметкам территория распространения песчаных почв соответствует зонам распространения пустынных почв, светлых и типичных сероземов.

В генетическом отношении представляет интерес ряд почв в бассейне Мургаба и Теджена от предгорных равнин Бадхыза и Карабиля до Центральных Каракумов. Песчаные почвы занимают здесь господствующее положение в ландшафте. Среди них есть молодые почвы в периферии современных дельт, формирующиеся в процессе опустынивания обсыхающих гидроморфных почв; имеются хорошо сформировавшиеся почвы с развитым профилем в зоне пустыни и полупустыни; часть почв разбита неумеренным выпасом скота и превратилась в подвижные барханы. Небольшие площади песчаных пустынь в комплексе с такыровыми попали в контуры орошения (Хаузханский массив).

Однородная материнская порода — перевеянные пески и сходный рельеф позволяют проследить особенности почвообразования во всем ряду от центра пустыни до предгорий в зависимости от разных эколого-климатических условий.

Самые молодые песчаные почвы представляют собой переотложенную ветром массу иссушенных луговых и болотных почв обсохших пойм и мест периферийных разливов в сухих дельтах — явление, характерное для пустыни. Именно такую почву и характеризует разрез 223, заложенный в периферийной части Мургабской дельты (табл. 6).

Состав водорастворимых солей представлен в таблице 7.

Характер строения почвенного разр. 223 свидетельствует об изменении условий почвообразования. Нижняя часть профиля (126—220 см) имеет следы гидроморфного почвообразования (охристые пятна, гумусовые потеки) и нормальный солончаковый профиль. Ее формирование соответствует периоду аллювиального увлажнения данного участка дельты, хотя, судя по механическому составу, можно думать, что материал, послуживший материнской породой, был прежде переотло-

Таблица 7. **Водорастворимые соли и гумус в опустынивающихся почвах периферийной части Мургабской дельты**

| № разреза, местоположение | Глубина, см | Плотный остаток, % | Щелочность | | $NO_3$ | Cl | $SO_4$ | Ca | Mg | Na | K | Гумус, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $CO_3$ | $HCO_3$ (общая) | мг·экв. на 100 г абсолютно сухой почвы | | | | | | | |
| 223, периферия современной дельты | 0—2 | 0,08 | Нет | 0,72 | 0,03 | 0,07 | 0,10 | 0,28 | 0,20 | 0,26 | 0,26 | 0,46 |
| | 4—20 | 0,11 | » | 0,64 | 0,09 | 0,38 | 0,10 | 0,24 | 0,04 | 0,70 | 0,31 | 0,52 |
| | 30—40 | 0,64 | » | 0,40 | 1,01 | 5,41 | 0,39 | 2,39 | 0,79 | 5,74 | 0,51 | 0,52 |
| | 65—75 | 0,86 | » | 0,60 | 0,66 | 5,48 | 4,08 | 3,38 | 1,19 | 5,44 | 0,87 | 1,00 |
| | 80—90 | 1,12 | » | 0,40 | 0,35 | 4,76 | 8,88 | 6,96 | 1,83 | 5,13 | 1,28 | Не опр. |
| | 130—140 | 1,00 | » | 1,00 | 0,81 | 8,70 | 5,52 | 1,60 | 2,60 | 10,22 | 1,28 | 0,66 |
| | 170—180 | 0,58 | » | 0,94 | 0,44 | 4,58 | 3,74 | 1,30 | 1,42 | 5,65 | 0,87 | 0,36 |
| | 200—210 | 0,42 | » | 1,00 | 0,51 | 2,65 | 2,98 | 1,20 | 0,72 | 4,35 | 0,60 | 0,28 |
| 80, периферия древней дельты | 0—10 | 0,11 | » | 0,56 | Следы | 0,39 | 0,42 | 0,60 | 0,33 | 0,45 | 0,15 | 0,25 |
| | 20—30 | 0,07 | » | 0,56 | » | 0,11 | 0,58 | 0,40 | 0,25 | 0,43 | 0,13 | 0,20 |
| | 36—46 | 0,06 | » | 0,52 | » | 0,11 | 0,48 | 0,35 | 0,25 | 0,52 | 0,10 | 0,16 |
| | 77—87 | 0,09 | » | 0,64 | » | 0,28 | 0,73 | 0,30 | 0,16 | 1,09 | 0,05 | Не опр. |
| | 112—122 | 0,21 | Следы | 0,85 | » | 0,42 | 1,40 | 0,25 | 0,16 | 2,48 | 0,05 | » » |
| | 182—192 | 0,04 | » | 0,48 | » | 0,11 | 0,54 | 0,40 | 0,25 | 0,26 | 0,03 | » » |

жен ветром и гидроморфному периоду предшествовал пустынный период почвообразования. Об этом же свидетельствует и наличие оглиненных трубочек и корочек в почве на глубине 155—200 см. Верхняя часть почвенного профиля была разрушена ветром, нижняя часть неразрушенной ветром почвы вскрылась на глубине 126 см от современной поверхности.

Горизонт 75—126 см навеян ветром и соответствует времени развеивания гумусовых горизонтов гривистых повышений. Навеянная масса содержит около 0,7% гумуса, почва серого цвета и песчаного состава с содержанием солей более одного процента.

Выше (60—75 см) навеян более гумусированный материал в результате разрушения гумусовых горизонтов луговых и болотных почв, залегавших ранее между гривами; содержание гумуса около 1%.

По мере того как разрушалась и развевалась почва на окружающих землях, в дефляцию вовлекались все менее гумусированные слои нижних горизонтов почвы. Переотложенная ветром почвенная масса вовлекалась в новые циклы дефляции, при этом почва все более обеднялась органическим веществом и самыми тонкими частицами и солями. Органическое вещество при этом тоже частично выдувается, а частично разлагается, минерализуется, о чем свидетельствует обогащение почвенной массы нитратами.

При дальнейшем развитии опустынивания все большую площадь занимают песчаные почвы на перевеянном аллювии.

В периферийной части Марыйской дельты уже почти полностью доминируют элементы пустынного ландшафта, хотя имеются отдельные участки, где обнажаются аллювиальные отложения. В этой части на широкой гряде заложен разрез 225, который характеризует вполне развитый профиль пустынной песчаной почвы, лишенный пылеватых и большей части глинистых частиц, а также водорастворимых солей.

Пустынная песчаная почва переходной стадии от гидроморфных условий к автоморфным, когда пойменный режим сменился пустынным, аллювиальные почвы частично разрушены и перевеяны, сохраняет в составе и свойствах почвенной массы признаки былого влияния лугово-болотного почвообразования. Эти почвы состоят из плохо отсортированных частиц, остаточно гумусиро-

ваны, часто содержат соли. Со временем они выравниваются по составу и поверхность их стабилизируется.

Разрезы (80, 82), 158, 159 заложены на почвах тоже в низовьях Мургабской дельты, но на древней ее генерации. Поверхность почв закреплена илаком, саксаулом, черкезом и другими псаммофитами. Почвенный профиль вполне сформирован, имеет все генетические горизонты, свойственные развитой пустынной песчаной почве.

Разрез 25 расположен на более высокой (примерно 400 м), древней поверхности возвышенности Карабиль. Зона светлых сероземов. Рельеф грядово-волнистый с редкими котловинами выдувания. Заложен на очень слабо покатой ровной поверхности. Растительность — полынь песчаная, эфемеры, песчаная осока и др. Территория используется как пастбище.

Разрез 32 заложен на высоте около 500 м над уровнем моря в Бадхызском заповеднике. Растительный покров лучше сохранился и образует высокий, почти сплошной покров из полыни песчаной, псеролеи, ирисов, осоки песчаной. Ровная поверхность повышения. По аналогии с лессовыми равнинами это зона обыкновенных сероземов.

Разрез 34 заложен тоже в районе возвышенности Бадхыз, как и разрез 32, только на ее более высокой южной части на неогеновых песках. Высота около 600—650 м. Широковолнистый рельеф. Повышенные увалы чередуются с лощинообразными понижениями. Разрез заложен на очень слабо покатой поверхности повышения с густым травянистым покровом. Обильные заросли какого-то эфиромасличного растения, изредка полынь песчаная. Зона темных сероземов.

Мы привели описания почв, сформировавшихся на ровных поверхностях повышения или их очень пологих склонах в верхней части. Одновременно с этими почвами изучали почвы нижней части склонов и в понижениях, описания которых не даны из-за экономии объема работы. Эти почвы отличаются несколько более тонким составом слагающих их частиц, они чаще супесчаные, с более высоким (обычно на 20—50%) по сравнению с почвами повышений содержанием гумуса. Различия между почвами повышений и понижений с увеличением уровня поверхности более четко проявляются, особенно в зоне сероземов. Среди пустынных песчаных

почв различий по содержанию гумуса не обнаруживается или они незначительны, но почвы понижений часто, но не всегда более пылеватые.

Главнейший признак морфологического отличия пустынных песчаных почв от песчаных сероземов — расположение горизонта максимального скопления корневых систем растений. В пустынных песчаных почвах его верхняя граница опущена на глубину 5—10 см, мощность корневого горизонта 15—25 см. Верхний слой песка над горизонтом максимального скопления корней образует как бы мульчу, которая смягчает режим тепла и влаги для корнеобитаемого горизонта. 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 мощностью 12 см, очень густо переплетенной корнями эфемеров. Глубже (до 35—40 см) идет тоже корневой горизонт, но образуется он корневой массой многолетних растений. Глубже 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 большого их обилия.

Второй признак морфологического отличия пустынных песчаных почв от песчаных сероземов — характер выделения карбонатов.

В песчаных сероземах заметно проявляется иллювирование карбонатов, которые образуют и морфологически выраженные новообразования в виде жилок по ходам корней, а в нижней части почвенного профиля карбонатные пятна. Причем кристаллы вторичного кальцита в песчаных почвах отличаются от сероземных почв на лессах большей крупностью, изометричностью (размер кристаллов 0,05—0,1 мм), в то время как в сероземах на лессах вторичный кальцит всегда пелитоморфный (0,005—0,001 мм), реже несколько крупнее, часто игольчатый по форме.

В пустынных песчаных почвах также видны следы перекристаллизации кальцита, но без выраженного иллювирования. Влияние перекристаллизации прояв-

Таблица 8. **Механический состав песчаных почв на эоловых отложениях**

| № разреза, почва | Глубина, образца, см | Содержание фракций (в %), 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 | >0,1 | <0,01 |
| 158, пустынная песчаная почва | 0—9 | 0,4 | 92,1 | 3,7 | 2,1 | 0,3 | 0,1 | 1,3 | 92,5 | 1,7 |
| | 10—20 | 0,4 | 91,9 | 3,9 | 2,3 | 0,2 | 0,1 | 1,2 | 92,3 | 1,5 |
| | 33—43 | 0,3 | 90,1 | 4,5 | 3,0 | 0,7 | 0,2 | 1,2 | 90,4 | 2,1 |
| | 70—80 | 0,8 | 94,2 | 1,9 | 1,7 | 0,2 | 0,2 | 1,0 | 95,0 | 1,4 |
| | 127—137 | 0,3 | 93,1 | 4,0 | 1,0 | 0,4 | 0,4 | 0,8 | 93,4 | 1,6 |
| | 200—210 | 0,9 | 90,7 | 4,9 | 2,1 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 91,6 | 1,4 |
| | 206—216 | 0,1 | 47,6 | 33,2 | 10,6 | 0,7 | 2,5 | 5,3 | 47,7 | 8,5 |
| 159, то же, в котловине | 0—4 | 5,0 | 85,3 | 4,0 | 3,1 | 0,6 | 0,7 | 1,3 | 90,3 | 2,6 |
| | 4—14 | 1,0 | 74,7 | 11,6 | 9,1 | 0,7 | 0,7 | 2,2 | 75,7 | 3,6 |
| | 20—30 | 1,1 | 56,9 | 15,2 | 18,8 | 1,9 | 2,1 | 4,0 | 58,0 | 8,0 |
| | 37—47 | 1,2 | 30,0 | 16,6 | 36,4 | 3,5 | 4,7 | 7,6 | 31,2 | 15,8 |
| | 100—110 | 1,8 | 2,2 | 10,0 | 61,9 | 5,6 | 6,8 | 11,7 | 4,0 | 24,1 |
| | 164—174 | 0,1 | 12,5 | 39,6 | 41,1 | 0,4 | 1,9 | 4,4 | 12,6 | 6,7 |
| 82, то же, на ровной поверхности широкой гряды | 0—5 | 3,2 | 78,5 | 11,1 | 4,9 | 0,5 | 0,2 | 1,6 | 81,7 | 2,3 |
| | 7—17 | 2,1 | 76,3 | 12,3 | 6,3 | 0,3 | 0,7 | 2,0 | 78,9 | 3,0 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 23—33 | 1,3 | 77,1 | 15,2 | 4,6 | 0,2 | 0,4 | 1,2 | 78,4 | 1,8 |
| | 74—84 | 1,6 | 86,0 | 7,3 | 3,0 | 0,2 | 0,3 | 1,6 | 87,6 | 2,1 |
| | 180—190 | 0,4 | 78,1 | 16,3 | 3,2 | 0,3 | 0,3 | 1,4 | 78,5 | 2,0 |
| 25, песчаный светлый серозем | 0—10 | 0,1 | 19,4 | 39,0 | 29,6 | 2,8 | 3,4 | 5,7 | 19,5 | 11,9 |
| | 14—24 | 0 | 15,1 | 43,4 | 31,1 | 1,6 | 3,5 | 5,3 | 15,1 | 10,4 |
| | 47—57 | 0 | 20,2 | 55,6 | 16,4 | 0,7 | 2,1 | 5,0 | 20,2 | 74,9 |
| | 100—110 | 0 | 22,0 | 57,3 | 14,4 | 0,5 | 0,7 | 5,1 | 22,0 | 6,3 |
| | 160—170 | 0 | 19,0 | 53,4 | 21,1 | 1,1 | 0,6 | 4,8 | 19,0 | 6,4 |
| 32, песчаный обыкновенный серозем | 0—10 | 0,3 | 53,7 | 26,6 | 12,3 | 0,1 | 2,1 | 4,9 | 54,0 | 7,1 |
| | 15—25 | 0,1 | 56,7 | 29,5 | 8,4 | 0,3 | 0,8 | 4,2 | 56,8 | 5,3 |
| | 46—56 | 0,1 | 45,9 | 40,8 | 7,1 | 0,4 | 1,3 | 4,4 | 46,0 | 6,1 |
| | 95—105 | 0 | 20,2 | 48,1 | 24,6 | 0,5 | 1,2 | 5,3 | 20,3 | 7,0 |
| | 160—170 | 0 | 34,9 | 43,7 | 15,1 | 0,2 | 0,3 | 5,8 | 34,9 | 6,3 |
| | 200—210 | 0 | 34,6 | 44,6 | 10,3 | 4,6 | 0,6 | 5,3 | 34,6 | 10,5 |
| 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 | 10,7 |
| | 16—26 | 0,1 | 30,5 | 41,3 | 19,9 | 0,9 | 2,5 | 4,8 | 30,6 | 8,2 |
| | 50—60 | 0,1 | 40,5 | 30,7 | 19,6 | 2,2 | 1,4 | 5,5 | 40,6 | 9,1 |
| | 105—115 | 0 | 45,4 | 30,1 | 16,1 | 1,7 | 1,6 | 5,1 | 45,4 | 8,4 |
| | 150—160 | 0 | 40,5 | 33,4 | 19,6 | 0,5 | 0,8 | 5,2 | 40,5 | 6,5 |
| | 186—196 | 0 | 22,7 | 32,9 | 32,9 | 1,3 | 4,3 | 5,9 | 22,7 | 11,5 |
| | 220—230 | 0 | 25,7 | 37,1 | 28,2 | 0,8 | 3,0 | 5,2 | 25,5 | 9,0 |

ляется в некоторой цементации песчаных частиц и образовании известковисто-глинистых трубочек по ходам корней, что и придает почве связность и слабовыраженную комковатую структуру. Перекристаллизация кальцита является причиной образования хрупкой корочки на поверхности почвы, которая замечалась всеми почвоведами, но некоторые ее считали кремневой.

И еще одно морфологическое различие — это 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 пленки желтоватого или красноватого цвета.

Гумусовый горизонт песчаных сероземов хорошо выделяется морфологически, при этом его выраженность и мощность повышаются с подъемом поверхности предгорных равнин. Содержание гумуса от подзоны светлых до темных сероземов возрастает от 0,4—0,5 до 1,5%. Вместе с тем содержание гумуса в песчаных сероземах значительно меньше, чем в сероземах на лессах. Более пониженная гумусность, несомненно, следствие отсутствия фиксации органики 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 составу менее выражены, чем по морфологии, и не выходят за рамки колебаний внутри типа, т. е. перекрываются различиями в зависимости от местных условий развития почвы.

Представленный в таблице 8 анализ механического состава почв свидетельствует о большом количестве песчаных частиц, точнее тонкопесчаных, что характерно для мургабских отложений, и мелкого песка (0,05—0,25 мм). Содержание их колеблется от 55 до 95% общего веса почвенной массы (табл. 8). Содержание крупнопылеватой фракции (0,01—0,05 мм) заметно возрастает от пустынных песчаных почв к светлым и обыкновенным песчаным сероземам. Но эту особенность нельзя отнести за счет влияния почвообразования.

Тонкая пыль (0,001—0,01 мм) почти отсутствует во всех почвах. В пустынных ее содержание меньше 1%, а в песчаных сероземах меньше 3—5%, причем больше, чем наполовину она представлена вторичным кальцитом, т. е. большей частью это вторичные образования.

Илистые частицы размером меньше 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. Их увеличение 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. Песчинки пустынных почв в какой-то своей части состоят из агрегатов более мелких частиц, не поддающихся механическому разрушению в процессе перевевания.

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 песчаных почвах она возрастает до 5—9 мг·экв. на 100 г почвы, т. е. немного меньше, чем в почвах на лессах. По составу поглощенных оснований они не отличаются от обычных сероземов на лессах; преобладает поглощенный кальций, с глубиной возрастает (до 40—50% и более) доля поглощенного магния. Поглощенный натрий отсутствует, но всегда имеется поглощенный калий — до 5—8% суммы поглощенных оснований (табл. 9).

Таким образом, по поглотительной способности, несмотря на песчаный состав, почвы мало уступают почвам на лессовой материнской породе, что очень важно для оценки их плодородия.

Небольшое содержание солей в пустынных песчаных почвах (табл. 10) связано с тем, что исходные соли были вынесены ветром в процессе перевеивания аллювия, новое их поступление из грунтовых вод невозможно вследствие глубокого залегания последних. Частично они пополняются продуктами минерального распада растений и эолового поступления. Но количество этих солей небольшое, почва хорошо проницаема и промывается атмосферными водами.

Таблица 9. **Содержание гумуса, карбонатов, ила и состав поглощенных оснований в песчаных почвах Мургабского бассейна**

| № разреза, почва | Глубина, см | Гумус по Тюрину | $CaCO_3$ по $CO_2$ | Фракция <0,001 мм на бескарбонатную почву | Поглощенные основания | | | | Сумма поглощенных оснований | Емкость поглощения |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Ca | Mg | Na | K | | |
| | | % на сухую почву | | | % от суммы | | | | мг-экв. на 100 г почвы | |
| 223, пустынная почва на переотложенных ветром продуктах разрушения луговых и тугайных почв (Марыйская часть дельты) | 0—2 | 0,46 | 8,8 | 5,3 | 71 | 15 | 3 | 11 | 5,1 | 5,3 |
| | 4—20 | 0,52 | 8,8 | 5,3 | 42 | 29 | 15 | 16 | 5,6 | 5,7 |
| | 30—40 | 0,52 | 8,0 | 5,2 | 64 | 27 | 4 | 6 | 8,6 | 8,8 |
| | 65—75 | 1,00 | 9,8 | 6,1 | 73 | Нет | 20 | 7 | 7,6 | 7,8 |
| | 80—90 | 0,65 | 7,8 | 4,8 | 60 | 30 | 5 | 4 | 18,1 | 18,6 |
| | 130—140 | 0,45 | | 4,2 | | | Не определяли | | | |
| | 170—180 | 0,35 | | 5,4 | | | » | » | | |
| | 200—210 | 0,28 | | 4,8 | | | » | » | | |
| 158, пустынная песчаная почва на грядовом повышении (Байрамская часть дельты) | 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 | 4,8 | » | 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 опр. | 10,2 | 0,9 | | | Не определяли | | | 2,0 |
| | 200—210 | » » | 10,2 | 0,7 | | | » | » | | 2,1 |
| 159, пустынная песчаная почва в котловине на склоне той же гряды, где разрез 158 | 0—4 | 0,11 | 9,7 | 1,4 | 70 | 22 | Нет | 8 | 3,3 | 2,3 |
| | 4—14 | 0,10 | 10,6 | 2,5 | 47 | 47 | » | 7 | 3,3 | 2,7 |
| | 20—30 | 0,10 | 12,0 | 4,5 | 45 | 44 | 3 | 7 | 5,2 | 3,3 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 37—47 | 0,17 | 14,7 | 8,8 | 33 | 54 | 6 | 8 | 7,1 | 4,4 |
| | 100—110 | Не опр. | 18,5 | 14,3 | 73 | 26 | Нет | 1 | 11,8 | 6,3 |
| | 164—174 | » » | | | | | | | | 4,1 |
| 82, пустынная песчаная почва на гряде (более древняя часть дельты) | 0—5 | » » | 13,4 | 1,8 | 87 | Нет | 5 | 8 | 3,6 | 3,4 |
| | 7—17 | » » | 12,5 | 2,3 | 98 | » | Нет | 2 | 4,8 | 4,9 |
| | 23—33 | » » | 12,1 | 1,4 | 95 | » | » | 5 | 2,5 | 2,8 |
| | 74—84 | » » | 12,1 | 1,8 | 73 | » | » | 4 | 3,2 | 3,1 |
| 25, серозем светлый песчаный (Карабиль) | 0—10 | 0,44 | 10,1 | 6,3 | 69 | 26 | Нет | 5 | 8,9 | 8,2 |
| | 14—24 | 0,40 | 12,5 | 6,0 | 59 | 35 | » | 6 | 6,6 | 6,0 |
| | 47—57 | 0,18 | 12,9 | 5,7 | 50 | 42 | » | 7 | 4,2 | 4,0 |
| | 100—110 | Не опр. | 12,9 | 5,8 | 41 | 55 | » | 4 | 5,7 | 5,1 |
| | 160—170 | » » | 12,5 | 5,5 | | | Не определяли | | | |
| 32, серозем обыкновенный песчаный (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 | » | 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 опр. | 14,7 | 6,8 | | | Не определяли | | | |
| | 200—210 | » » | 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 опр. | 14,8 | 6,0 | 94 | Нет | » | 6 | 4,1 | 4,3 |
| | 150—160 | » » | 12,6 | 6,0 | | | Не определяли | | | |
| | 186—196 | » » | 14,6 | 6,9 | | | » | » | | |
| | 220—230 | » » | 14,4 | 6,1 | | | » | » | | |

Таблица 10. **Состав водной вытяжки из образцов песчаных почв Мургабского оазиса**

| № разреза, почва | Глубина, см | Плотный остаток, % | Щелочность | | $NO_3$ | Cl | $SO_4$ | Ca | Mg | Na | K |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $CO_3$ | $HCO_3$ | | | | | | | |
| | | | мг-экв. на 100 г абсолютно сухой почвы | | | | | | | | |
| 223, пустынная почва на переотложенных ветром продуктах разрушения луговых и тугайных почв (Марыйская часть дельты) | 0—2 | 0,08 | Нет | 0,72 | 0,03 | 0,07 | 0,10 | 0,28 | 0,20 | 0,26 | 0,26 |
| | 4—20 | 0,11 | » | 0,64 | 0,09 | 0,38 | 0,10 | 0,24 | 0,04 | 0,70 | 0,31 |
| | 30—40 | 0,64 | » | 0,40 | 1,01 | 5,41 | 0,39 | 2,39 | 0,79 | 5,74 | 0,51 |
| | 65—75 | 0,86 | » | 0,60 | 0,66 | 5,48 | 4,08 | 3,38 | 1,19 | 5,44 | 0,87 |
| | 80—90 | 1,12 | » | 0,40 | 0,55 | 4,76 | 8,88 | 6,96 | 1,83 | 5,13 | 1,28 |
| | 130—140 | 1,00 | » | 1,00 | 0,81 | 8,70 | 5,52 | 1,60 | 2,60 | 10,22 | 1,28 |
| | 170—180 | 0,58 | » | 0,94 | 0,44 | 4,58 | 3,74 | 1,30 | 1,42 | 5,65 | 0,87 |
| | 200—210 | 0,42 | » | 1,00 | 0,31 | 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 | Нет | 0,64 | 0,02 | Нет | Нет | 0,56 | 0,10 | 0,04 | 0,07 |
| | 10—20 | 0,024 | » | 0,60 | Следы | » | » | 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 | 0,08 | 0,80 | Нет | » | 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 | Нет | 0,56 | Следы | Нет | Нет | 0,54 | 0,04 | 0,04 | 0,05 |
| | 4—14 | 0,016 | » | 0,60 | 0,02 | » | » | 0,46 | 0,10 | 0,04 | 0,10 |
| | 20—30 | 0,040 | » | 0,64 | 0,02 | » | » | 0,44 | 0,10 | 0,04 | 0,13 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 37—47 | 0,056 | 0,08 | 0,72 | 0,02 | 0,34 | 0,10 | 0,24 | 0,06 | 0,56 | 0,15 |
| | 100—110 | 0,948 | Нет | 0,40 | 0,10 | 7,08 | 6,00 | 2,72 | 1,24 | 10,66 | 0,10 |
| | 164—174 | 0,200 | 0,16 | 0,80 | 0,02 | 2,33 | 0,68 | 0,20 | 0,08 | 3,35 | 0,05 |
| 82, пустынная песчаная почва на гряде более древней части дельты (IV—V террасы) | 0—5 | 0,022 | Нет | 0,48 | 0,02 | 0,08 | 0,29 | 0,50 | 0,08 | 0,03 | 0,10 |
| | 7—17 | 0,020 | » | 0,44 | Нет | 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 | Нет | 0,56 | Следы | 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 | Следы | 0,48 | Нет | 0,03 | 0,12 | 0,40 | 0,08 | 0,13 | » |
| | 100—110 | 0,084 | Нет | 0,44 | Следы | 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 | Нет | 0,52 | Не опр. | 0,03 | 0,29 | 0,65 | 0,08 | 0,04 | 0,10 |
| | 15—25 | 0,088 | » | 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 | Нет | 0,39 | Не опр. | 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 | Нет | 0,56 | Следы | 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 | » | 0,39 | Не опр. | 0,03 | 0,25 | 0,30 | 0,16 | 0,09 | 0,03 |
| | 186—196 | 0,068 | 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 |

В песчаных сероземах абсолютное содержание солей тоже очень мало, но, несмотря на более высокое увлажнение здесь атмосферными осадками, во всех случаях отмечается присутствие всех ионов легкорастворимых солей, начиная с поверхности почвы. По-видимому, эти ионы задерживаются растительной массой в виде органических комплексов, которая здесь более обильна, чем в районах пустынных песчаных почв.

В песчаных почвах всегда обнаруживается какое-то количество нитратов, несмотря на бедность их органическим веществом. При этом в пустынных песчаных почвах содержание нитратов более высокое, чем в песчаных сероземах. И почти всегда содержится водорастворимый калий. Имеется и подвижный фосфор, но запасы питательных веществ небольшие, хотя они легко доступны. Эти особенности в содержании питательных элементов и хорошая способность, поглощать атмосферные осадки, экономно их расходовать вместе со способностью к конденсации влаги из воздуха объясняют причину наличия хорошего растительного покрова. По запасам растительной массы эти почвы значительно превосходят почвы на суглинистых отложениях не только в пустынной части их распространения, но и в зоне сероземов.

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 более высокой их карбонатностью, в них больше потери от прокаливания за счет органического вещества и углекислоты карбонатов, незначительно больше полуторных окислов, соответственно содержание кремнекислоты меньше.

Выявленные различия в составе пустынных песчаных почв и песчаных сероземов касаются 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 бóльшая выветрелость силикатной части сероземных почв, которая обнаруживается с помощью статистического анализа.

Песчаные почвы образуются и на древних поверхностях третичных и нижнечетвертичных плато в резуль-

тате разрушения древних почв коренных и осадочных отложений. Очень часто песчаный слой имеет небольшую мощность, и уже в пределах почвенного профиля обнаруживаются остатки серо-бурых почв или близко к поверхности залегают материнские породы. Маломощные пустынные песчаные почвы более часто бывают засолены. Различий в других свойствах от таких почв на перевеянном древнем аллювии не обнаружено. Однако они сильно отличаются в худшую сторону по мелиоративным свойствам из-за малой мощности песчаного слоя при большой вариабельности этого показателя по территории и близкого к поверхности залегания солеиосных и плотных пород. В мелиоративном отношении различия между пустынными песчаными и сероземно-песчаными почвами незначительны, но по генетическим показателям они попадают в разные типы почв. Наоборот, различия между сероземами на лессах и песчаными очень значительны, режимы сельскохозяйственного использования и мелиоративные приемы освоения очень сильно различаются, по географическим же классификациям они могут быть разделены самое большее на уровне рода, а то и разновидности. Возникает необходимость разработки самостоятельной мелиоративной классификации почв, где бы выделение таксонов от низших к высшим шло по мере возрастания значимости тех или иных качеств почв для мелиоративных целей.

В существующей генетической классификации почв пустынные почвы выделяются на уровне особого типа. Что касается песчаных сероземов, которые имеют широкое распространение в Туркмении, то они выделяются на уровне родов подтипов темных, обыкновенных и светлых сероземов, хотя от последних отличаются значительно меньшим содержанием гумуса, иной структурой почвенной массы при резко отличных водно-физических свойствах при сходном строении почвенного профиля.

Песчаные почвы обладают неблагоприятными ирригационными качествами из-за высокой проницаемости и малой влагоудерживающей способности. По имеющимся литературным данным, впитывание и проницаемость на пустынной песчаной почве примерно в 100 раз больше, чем на такыре (со срезкой корки), в 10 раз больше, чем на такыровидной, вдвое выше, чем на супесчаной

почве. Величина проницаемости для пустынной песчаной почвы равна в среднем 7 м/сутки при колебании от 5 до 10 м/сутки и более в зависимости от плотности сложения и наличия ила.

Предельная полевая влагоемкость песчаных почв — 3–8% по весу, для супесчаных — 8—14. Коэффициент завядания обычно колеблется в пределах 1—2%. Запас доступной влаги для незасоленных почв 2—6% для песчаных и 6—10% для супесчаных; для суглинистых орошаемых почв 10—14%. Песчаные почвы легко вовлекаются под орошение. Понятно, что ирригационная сеть должна быть в водонепроницаемых одеждах. Подготовительные мероприятия практически ограничиваются планировками. По планировкам территорий с всхолмленным рельефом поверхности имеются оригинальные народные методы. Один из них — с использованием силы ветра. На повышенных участках со снятым растительным покровом и разрыхленной поверхностью путем расстановки щитов регулируют воздействие ветра на перемещение песчаных масс так, чтобы песок с повышений переносился в понижения. Этот очень древний прием наблюдался в Туркмении в низовьях сухих дельт. При замачивании почв понижений песчаные бугры и бугорки оседают и дальнейшее выравнивание поверхности значительно облегчается.

В прошлом в освоении песчаных почв предусматривались приемы кольматации, чаще путем подачи мутных вод на подготовленные для орошения участки. Поступление и накопление ила благоприятствует повышению водоудерживающей способности почв, повышает противодефляционную стойкость поверхности и облегчает регулирование питательного режима. Целесообразность кольматации не вызывает сомнений, но не везде имеются источники мутных вод. Основные источники орошения песчаных почв — дренажные, грунтовые и артезианские воды — осветлены. Возможно внесение глинистых (незасоленных) материалов местного происхождения. Этот вопрос не изучен. Требуется опытная разработка технологии глинования почв и ее механизации с использованием разных тонкочастичных материалов. В дальнейшем под влиянием орошения механический состав песчаной почвы утяжеляется из-за внутрипочвенного выветривания первичных минералов и разрушений песчинок, состоящих из агрегатов более мелких частиц,

путем растворения цемента, размокания и разрушения клеящих веществ.

При использовании на орошение минерализованных вод значительное утяжеление механического состава нежелательно, так как затрудняется борьба с засолением почв.

Эксплуатация орошаемых песчаных почв сложнее по сравнению с почвами суглинистого состава. Требуется проведение частых поливов малыми нормами. Велика опасность подсушки растений при малейшей задержке полива. К тому же почвы эрозионноопасны. С подсушкой верхнего слоя песчинки выносятся ветром и корни растений обнажаются. Часты случаи засекания растений песком. Также имеются сложности с регулированием режима питания растений из-за легкой вымываемости питательных элементов из почвы. Требуется более частое внесение удобрений. Одно внесение минеральных удобрений дает значительно меньший эффект, чем внесение их с навозом. Но надо полагать, если поступление питательных минеральных элементов, так же как и воды, будет очень частым (практически требуется непрерывная подача), то эффективность их применения должна быть высокой.

Методы самотечного орошения, разработанные для обычных суглинистых почв, для песчаных мало пригодны из-за большой проницаемости, больших потерь воды и необходимости частых поливов. Лучшие механические методы подачи и распределения поливной воды — дождевание и капельное орошение, при специфических условиях возможно внутрипочвенное орошение. Но в последующих двух случаях обязательны промывки почв с поверхности. Успех орошения песчаных почв в немалой степени зависит от состава подстилающих пород и мощности песчаных отложений. Маломощные песчаные почвы на соленосных отложениях и серо-бурых почвах очень скоро засоляются. Такие территории нуждаются в искусственном дренаже. При хорошей дренированности территории и большой мощности песчаных отложений соленакопление ослаблено. Ценный практический опыт создания орошаемых оазисов в Кызылкумах при орошении песчаных почв грунтовыми и подземными водами описан в монографии Н. Л. Морозова и В. Ф. Иванова (1968), которые показали возможность создания орошения на пустынных землях участками на площади

до 600—700 га и нецелесообразность рассредоточения среди пустынных земель мелких орошаемых участков (20—30 га), что вначале казалось проще.

По уровню плодородия в условиях орошения, как показали опыты (Расулов, 1976, и др.), пустынные песчаные почвы немногим уступают такырным почвам и значительно превосходят такыры и серо-бурые почвы.

Песчаные и супесчаные пустынные и сероземные почвы являются единственно пригодными для орошения минерализованными водами, поскольку они легко промываются от солей при обычных поливах. Есть опыт орошения песчаных почв водой с минерализацией 7 и 10 г/л (САНИИРИ). Но опыт этот только начат, процесс недостаточно исследован, чтобы судить о последствиях. Таким образом, вывод о пригодности минерализованных вод для орошения песчаных почв следует принимать как предварительный, нуждающийся в опытной проверке. Предстоит разработать также систему агротехники и удобрения на орошаемых песчаных почвах.

## ГИПСОНОСНЫЕ ПОЧВЫ, ИХ ОСОБЕННОСТИ И ПОЧВЕННО-МЕЛИОРАТИВНАЯ ОЦЕНКА

Гипсоносные почвы давно привлекают внимание почвоведов-мелиораторов необычными водно-физическими свойствами, прежде всего, как казалось многим, очень высокой влагоемкостью (Рабочев, 1949, и др.). Но это представление оказалось ошибочным. Повышенная влагоемкость — результат недоучета особенностей гипса как минерала. Стандартные методы анализа с пересчетом на абсолютно сухую массу, как это принято для обычных почв, для гипсоносных не подходят. Сушка образцов при 105°С сопровождается разрушением гипса. Двугидрат сульфата кальция переходит в полугидрат, при этом теряется кристаллизационная вода. Эта вода принималась тоже за почвенную влагу. Такая же ошибка допускается и поныне. Большая часть анализов для гипсоносных почв создает неверное представление об их составе и свойствах из-за расчета на почву, потерявшую воду из своей кристаллической фазы. Поскольку в прошлом гипсоносные почвы мало использовались под орошение, то эти ошибки оставались незамеченными или не имеющими большого практического значения.

В настоящее время гипсоносные почвы более широко вовлекаются под орошаемое земледелие. В проектировании их освоения продолжают допускаться просчеты, в связи с чем возникают трудности в освоении и достижении запроектированной производительности. Поэтому требуется доведение до сведения мелиораторов систематических знаний о природе гипсоносных почв. Расчет следует делать на почву, высушенную при 65—70°С.

Большинство почв пустынь и полупустынь содержит в своем составе гипс. Аккумуляция гипса по мощности гипсоносного горизонта и количеству часто достигает десятков процентов от веса почвы, и это необходимо учитывать при строительстве и проведении оросительных работ.

В классификациях, принятых для картографических работ, гипсоносные почвы выделяются на уровне рода. По глубине залегания «гипсоносной породы» выделяют корково-гипсовые — верхняя граница гипса на глубине 10 см от поверхности почвы, высокогипсовые — на глубине 10—50 см и гипсоносные при залегании верхней границы глубже 50 см.

Гипсоносный горизонт большинством почвоведов-географов рассматривается как материнская порода, а гипс — как остаточный минерал. Такое представление не отвечает существу почвообразовательных процессов в аридной зоне, где гипс образуется и накапливается при развитии почв как в гидроморфных, так и в автоморфных условиях. Источники гипса могут быть различные, в том числе и материнская порода, но чаще он накапливается из грунтовых и почвенно-капиллярных и в меньшей мере из поверхностных вод, собирающих сульфатно-кальциевые воды из продуктов выветривания и почвообразования вышерасположенных территорий. Известно образование гипса из продуктов выветривания пиритоносных и ярозитизированных пород в Закавказье и на Памире, сульфатоносных и глауберитовых пород на Тань-Шане. В определенных условиях может иметь значение и эоловое поступление гипса (этому особое значение придавал Н. А. Димо) и другие источники. В процессе почвообразования происходит некоторое перераспределение гипса в соответствии с рельефом и микрорельефом, условиями атмосферного увлажнения, и т. д. Главное в том, что гипс в почвах пустынь и по-

лупустынь накапливается и этому благоприятствует сухой климат и бессточность.

Есть основания для выделения сильногипсоносных почв на уровне особого типа, поскольку эти почвы специфичны по генезису и в них появляется новый горизонт. Это находится в согласии с определившейся практикой выделения типов почв в пустыне прежде всего по литологическим признакам, которые определяют водно-термический режим, состав растительных сообществ, фауну и почвенные процессы. Такие типы почв, как обыкновенные и светлые сероземы на лессах и лессовидных породах, пустынные песчаные почвы, такыры на тяжелосуглинистых и глинистых пролювиально-делювиальных отложениях, серо-бурые песчано-хрящевато-суглинистые на третичных породах, такыровидные на суглинисто-супесчаных пролювиально-аллювиальных отложениях, различаются между собой прежде всего строением почвенно-литологического профиля. Не составляют исключения и почвы гидроморфного ряда.

Среди гипсоносных почв наиболее широко распространены следующие: 1) серо-коричневые гажевые почвы на галечниках, плотных изверженных и осадочных породах, характерные для низкогорных и подгорных районов Закавказья, и высоких террас р. Евфрат. Они встречаются также на подгорных равнинах и высоких террасах в Испании; 2) гипсоносные сероземы на лессовидных и каменисто-суглинистых отложениях верхних частей подгорных равнин Средней Азии (Розанов, 1951; Расулов, 1976); 3) серо-бурые гипсоносные (кыровые, структурные сероземы) почвы на песчаниках, известняках и других породах третичных плато Средней Азии. Такие почвы известны также в Египте, Ираке, Иране (Ковда, 1954; Лобова, 1960; Buringh, 1960; Alphen, Romero, 1971); 4) бурые гипсоносные пустынно-степные, распространенные большей частью в Казахстане; 5) солончаковые гипсоносные — сазовые серозем-но-луговые, луговые, болотные почвы и гипсоносные солончаки на лессовидных слоистых песчано-глинистых отложениях шлейфов подгорных равнин и депрессий между конусами выносов и аллювиальными равнинами; 6) солончаковые гипсоносные почвы на слоистых песчано-глинистых аллювиальных отложениях долин и дельт (луговые, болотные, солончаки); 7) вторичные гипсоносные солончаки в оазисах на древних ирriга-

ционных отложениях; 8) песчаные гипсоносные почвы в котловинах среди песков пустынь Средней Азии, Северной Африки и других районов.

### Серо-бурые гипсоносные почвы

Серо-бурые почвы широко распространены в Средней Азии в области пустынь и полупустынь. В недавнем прошлом они рассматривались как малопригодные или непригодные для орошения. В настоящее время эти почвы включены в резерв предстоящего расширения орошаемых площадей, местами делаются попытки их освоения, чаще без успеха (Маликчульская степь). В литературе можно видеть ссылки на положительный опыт освоения серо-бурых почв, однако при более детальном ознакомлении оказывается, что этот опыт получен не на серо-бурых почвах, а на почвах с более молодыми лессовидными покровами на серо-бурых или же в местах размыва серо-бурых почв и понижениях, заполненных лессовидными отложениями. Вопрос об их пригодности остается до настоящего времени открытым.

Выявляется большое разнообразие серо-бурых почв. По-видимому, это не один, а сборный тип непесчаных почв пустыни.

Как уже отмечено выше, серо-бурые почвы встречаются не только в пустыне, но и среди сероземных почв на подгорных равнинах и приподнятых горных плато. Залегая среди сероземов, они нередко покрыты с поверхности маломощным (в несколько сантиметров, иногда в несколько десятков сантиметров) лессовидным покровом, на котором идет современный процесс сероземообразования. Местами, где повышена ветровая активность (Ходжентская горловина), такого покрова нет.

После того как на равнинах Средней Азии выделено две зоны — собственно пустынная и предгорная полупустынная — как нижнее звено вертикального ряда, серо-бурые почвы стали считать зональным типом пустыни, а сероземы — полупустыни (Лобова, 1960; Кимберг, 1974, и др.). Серо-бурые почвы в полосе предгорий стали относить к сероземам на гипсоносной породе. Последнее обстоятельство (гипсоносность) на картах часто отсутствует, и серо-бурые и сероземы показывают единым контуром. Такое необоснованное объединение повлекло за собой ряд ошибок в оценке пригодности

почв под орошение и принятие ошибочных решений по их освоению, как, например, в зоне I очереди Каршинского канала. Практическое развитие освоения земель под орошение на этих землях в Каршинской степи встретило ряд трудностей. Для их рассмотрения в 1975 г. была создана специальная комиссия, в состав которой входили почвоведы: В. В. Егоров, Н. В. Кимберг, Н. Г. Минашина, В. Р. Шредер. В заключении комиссии сказано, что гипсоносные почвы (выделенные на почвенной карте Узбекской ССР как сероземы) следует рассматривать как серо-бурые. Часть земель с гипсоносными почвами, где ирригационное строительство не начато, на данном этапе целесообразно исключить из первоочередного освоения, компенсировав землями на аллювиальных отложениях. Там, где ирригационная сеть сооружена, рекомендовалось заменить хлопчатник, возделывание которого предусматривалось проектом, менее требовательными и лучше выносящими гипсоносность садовыми или зерновыми культурами.

Многие почвоведы (Лобова, 1960; Егоров, 1959; Кимберг, 1974, и др.) серо-бурые почвы считают зональным типом пустынь, причем пустыню стали рассматривать как бы вне широтной зональности и выделять единый зональный тип пустыни. Н. В. Кимберг пишет: «Таким образом, пустыня — это самая сухая, жаркая и континентальная зона на земле»*.

В основу нижеследующего изложения положены материалы изучения серо-бурых почв на Красноводском, Девханинском плато и в Каршинской степи. Использованы также литературные данные по Заунгузью и Устюрту. Все эти районы относятся к субтропической части пустынь Средней Азии. Кроме того, автор книги была участником экспедиции в Ливийскую пустыню (1960 г.), в ее субтропическую и тропическую часть, и имела возможность наблюдать развитие пустынных почв и в этой части мира.

Имеющиеся материалы свидетельствуют о том, что разные пояса пустынь имеют качественно разнородный характер почвенного покрова. Выделение в них одного типа почвообразования не имеет фактического обоснования.

---

* Кимберг Н. В. Почвы пустынной зоны Узбекской ССР. Ташкент, «ФАН», 1974.

В тропической части Ливийской пустыни современный покров почв как таковой отсутствует. Начиная с широты оазиса Фаюм и южнее, в Ливийской пустыне дождей нет. Пустыня абиотична. Нет биологического фактора почвообразования — нет и почв. Есть коры выветривания; каменисто-известковые, каменисто-железистые, каменисто-кремневые, каменисто-гипсовые, песчано-гравелисто-кварцевые, которые также постепенно разрушаются и материал выносится ветром. При этом песок не образует сплошных покровов, как это наблюдается в наших пустынях, он постепенно истирается и выносится ветром. Ветровая деятельность более активна и более интенсивно физическое выветривание, 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 Ливийской пустыни в районе субтропиков, но лишь 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 защищавшего их покрова более поздних отложений. Но они при этом разрушаются ветром. В современных условиях растительного покрова на них тоже нет.

Самая северная, тоже субтропическая часть Ливийской пустыни в присредиземноморской полосе, где выпадает 100—200 мм осадков за год, имеет полупустынный растительный и почвенный покров. Почвы несут реликтовые черты, унаследованные от несколько более влажного периода почвообразования; среди них встречаются почвы с плотным известковым горизонтом, которые залегают на самых древних поверхностях. Почвы молодых поверхностей на суглинистых лессовидных материалах и более древних, с карбонатным горизонтом, по морфологии имеют черты сходства с нашими сероземами. Розанов назвал их субтропическими сероземами. Арабы называют их «бадыя», что означает почвы степей. Но эти почвы распространены за пределами пустыни.

В южной части среднеазиатской пустыни серо-бурые развиваются в комплексе с пустынными песчаными почвами. Последние занимают всю поверхность древнеал-

лювиальных равнин с небольшим участием в комплексе такыров и солончаковых шоров. Песчаные пустынные почвы занимают также значительную часть поверхностей древних третичных плато (Девханинского и Заунгузских Каракумов).

Костюченко (1959), изучавшая Заунгузские Каракумы, с использованием аэротранспорта выделила здесь следующие почвы и комплексы. Пески незакрепленные барханные, распространенные 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. Сочетания пустынных песчаных почв с серо-бурыми почвами распространены в юго-западной части Заунгузских Каракумов. Основной фон — пустынные песчаные почвы, а серо-бурые почвы размещаются среди них небольшими и редкими пятнами, причем, как считает В. П. Костюченко, они очень слабо развиты; верхние 10—20 см состоят из хрящеватого песка, глубже слой на 70—90% состоит из щебня, остальная часть представлена песком, гипсом в смеси с красноватым мелкоземом. Среди этих почв обнаружены такыровые пятна, окаймленные песчаными грядами и уступами песчаника высотой 30—40 м. Из описаний 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 разрушенном иллювиальном карбонатно-суглинистом горизонте развивается такыровая корка. В суглинистых почвах непосредственно под припесчаненной или такыровой коркой, с глубины 8 см, залегает горизонт с обильными глазками карбонатов, который переходит в каменистый слой с гипсом. Эти описания согласуются с описаниями А. Н. Розанова (1951).

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 сильноминерализованных водах образуются солончаки.

Эта характеристика также подтверждает, что серо-бурая почва Заунгузья — реликт ископаемых почв, которые в современных условиях неустойчивы и разрушаются. Их верхние горизонты остаточно опесчанены, а на выходах иллювиального горизонта формируется такыровая корка. Интересные материалы опубликованы С. К. Онищенко и Л. И. Сафоновой о серо-бурых почвах Юго-Восточного Устюрта, где процессы современной аккумуляции песков не выражены. В строении верхних слоев, на которых формируется почва, обнаружены погребенные древние ложбины стока, замаскированные плащом более молодых отложений. Явление литологической разновозрастности материнских пород серо-бурых почв характерно для всех древних поверхностей.

Нам удалось познакомиться с серо-бурыми почвами Давханинского плато, которое расположено в южной части Узбекистана на правобережье Амударьи — в низовьях Кашкадарьи. Поверхность плато тоже большей частью покрыта песчаными пустынными почвами, выходами каменистых пород и серо-бурыми почвами. Поверхность серо-бурых почв местами покрыта щебнем, местами такыровой коркой.

По морфологии серо-бурые почвы разнообразны. Серо-бурые (кыровые) гипсоносные почвы более всего распространены в Средней Азии на третичных и нижнечетвертичных плато, сложенных известняками, песчаниками и другими древнеосадочными породами. Близки к серо-бурым гипсоносным и бурые полупустынные гипсоносные почвы. По-видимому, серо-бурые почвы не являются генетически однородными. В литературе можно встретить описания почв с очень разнородными гипсовыми образованиями, которые относят к серо-бурым из-за гипсоносности.

Серо-бурые гипсоносные почвы Девахнинского плато имеют четыре генетических горизонта: верхний мощностью до 8 см в виде пористо-ноздреватой корки с пластинчато-комковато-чешуйчатой структурой, очень динамичной по своей консистенции в зависимости от влажности, то вязкой при высокой влажности, то твердой и ноздревато-трещиноватой при высыхании и чешуйчатой при сильном иссушении. В ней часто видна крупная карбонатная белоглазка, резко выделяющаяся на коричневато-сероватом фоне.

Глубже идет оглиненный серовато-коричневатый, иногда красноватый (или бурый в зависимости от материнской породы) горизонт ореховато-глыбисто-плитчатой структуры, с карбонатными пятнами и потеками глинистого вещества по трещинам (солонцеватая серо-бурая). Мощность этого горизонта различна и может достигать 40 и даже 80 см, но при большей мощности нижняя часть горизонта выделяется меньшей оструктуренностью, большей карбонатностью, меньшей пептизированностью. Серо-бурые почвы Красноводского плато не проявляют черт солонцеватости, но корка пористая, такыровидная.

Глубже оглиненного и часто ожелезненного горизонта идет гипсовый, который имеет различную мощность, но редко более 60 см. Он состоит из крупных, вертикально вытянутых на несколько сантиметров, разветвляющихся и переплетающихся друг с другом кристаллов, отчего горизонт рыхлый и ноздреватый. Включает песчано-глинистые частицы и более крупные обломки пород. Такую форму гипса называют шестоватой, «бозынгеном». Содержание гипса колеблется от 20 до 80%, чаще 30—70%. Последний переходный горизонт состоит из обломков породы и гипса по трещинам (табл. 11).

Свойства верхнего горизонта таких серо-бурых почв близки к свойствам такыровых, характерной чертой которых является малая гумусность (0,3—0,7%), часто высокая иловатость, пептизированность ила и склонность к образованию корки.

Среди серо-бурых часты почвы, мощность надгипсового слоя которых менее 60 см. Кристаллы гипса измельчаются, превращаясь в песок, а при обнажении гипсоносного горизонта — в пыль из-за обезвоживания. Имеются серо-бурые почвы с шоховым горизонтом, со-

Таблица 11. **Содержание гипса и карбонатов в серо-бурых почвах правобережья среднего течения Амударьи, % на сухую почву**

| Местоположение | Глубина, см | $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ | $CaCO_3$ | Местоположение | Глубина, см | $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ | $CaCO_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Девханинское плато. На элювии известкового песчаника | 0—5 | 0,2 | 18,2 | Девханинское плато. Переотложенная кора выветривания | 0—9 | 0,1 | 12,2 |
| | 5—12 | 0,3 | 18,2 | | 9—27 | 0,0 | 17,0 |
| | 12—32 | 0,4 | 22,2 | | 27—37 | 15,0 | 20,0 |
| | 32—48 | 0,4 | 29,7 | | 37—60 | 46,6 | 16,8 |
| | 48—60 | 3,0 | 59,7 | | 60—100 | 48,3 | 15,8 |
| | | | | | 110—120 | 25,3 | 8,6 |
| Низкая часть Аляутдинской группы поднятий на неогеновой погребенной почве | 0—10 | Нет | 14,0 | Конкреции | 60—100 | 0,3 | 67,9 |
| | 15—23 | » | 18,6 | | 110—120 | 5,5 | 24,0 |
| | 25—35 | » | 18,2 | | | | |
| | 40—50 | 0,3 | 21,7 | Мубарекская группа поднятий. Пролювий на размытой поверхности древней гипсоносной почвы | 0—10 | 0,1 | 15,6 |
| | 62—72 | 52,0 | 8,1 | | 10—30 | 2,1 | 18,0 |
| | 90—100 | 10,9 | 16,0 | | 30—75 | 51,2 | 9,3 |
| | 105—115 | 20,2 | 15,3 | | 90—100 | 9,5 | 20,0 |
| | 120—127 | 1,6 | 15,6 | | 112—122 | 0,3 | 27,0 |
| | 128—135 | 1,2 | 15,9 | | 125—135 | 0,9 | 25,2 |
| | 140—150 | 2,8 | 15,8 | | 180—200 | 4,4 | 33,2 |
| | 160—170 | 3,5 | 15,8 | | 210—220 | 0,3 | 20,1 |

стоящим из журавчиков-псевдоморфоз извести по ходам крупных корней, густо переплетающих горизонт, иногда сцементированных в плиту. Кроме того, на Девханинском плато можно обнаружить серо-бурые почвы на переотложенной коре выветривания, состоящей из обломков журавчиков, песчаника и других твердых пород. Такие почвы даже в большей мере насыщены гипсом, чем на элювии на месте его образования.

Известны и серо-бурые негипсоносные, большей частью на переотложенных пролювиально-делювиальных наносах.

Таблица 12. **Механический состав серо-бурых почв Девханинского плато по Качинскому с обработкой образца HCl**

| Глубина, см | Гравий | Потеря от обработки HCl | Содержание фракций (в % на бескальциевую навеску), размер частиц, мм | | | | | | | | $CaCO_3$ | Гипс |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | % на сухую почву | | 1—0,25 | 0,10—0,25 | 0,10—0,05 | 0,05—0,01 | 0,01—0,005 | 0,005—0,001 | <0,001 | >0,01 | % на сухую почву | |
| **Серо-бурая почва** | | | | | | | | | | | | |
| 0—9 | Нет | 18,3 | 11,6 | 38,4 | 29,3 | 13,8 | 1,3 | 1,0 | 4,6 | 7,0 | 12,3 | 0,1 |
| 9—27 | 1,0 | 24,8 | 11,0 | 31,3 | 19,7 | 16,9 | 2,0 | 3,5 | 15.7 | 21,1 | 17,0 | 0,0 |
| 27—37 | 2,5 | 38,3 | 13,6 | 39,4 | 6,6 | 17,6 | 3,1 | 4,7 | 14,9 | 22,7 | 2,0 | 15,0 |
| **Серо-бурая солонцеватая почва** | | | | | | | | | | | | |
| 0—5 | 7,0 | 22,7 | 7,5 | 25,6 | 30,9 | 22,8 | 3,1 | 3,2 | 6,9 | 13,2 | 18,2 | 0,2 |
| 5—12 | 5,0 | 26,1 | 7,7 | 23,1 | 17,3 | 14,6 | 3,4 | 6,9 | 26,9 | 37,2 | 18,2 | 0,3 |
| 12—32 | 6,0 | 26,2 | 11,6 | 28,8 | 11,4 | 12,6 | 1,6 | 8,1 | 25,3 | 35,0 | 22,2 | 0,4 |
| 32—48 | 4,0 | 31,6 | 9,5 | 28,9 | 10,8 | 14,8 | 3,6 | 7,3 | 25,1 | 36,1 | 29,7 | 0,4 |

Из данных анализа механического состава (табл. 12) видно, что так называемая солонцеватая серо-бурая почва наряду со значительно большей оглиненностью (частиц $<0{,}001$ мм—25—27%) в то же время и более хрящевата, чем почвы на переотложенной коре выветривания. Обращает внимание незначительное содержание в той и другой почве тонкой пыли (0,01—0,001 мм) и большое содержание мелкого песка. Все это свидетельствует о высокой степени выветрелости силикатной части почвы.

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 мине-

ралов и тонкозернистого карбоната. Последний образует на зернах обломочных минералов и агрегатов широкие одежды. Тонкозернистый кальцит этих одежд пропитан тонкодисперсным глинистым веществом, которое, сливаясь с микрокристаллами кальцита, образует единую сильно преломляющую свет глинисто-кальцитовую массу. Но в целом корка обеднена илом, только отдельные крупные ячейки — пузырьки воздуха облачены в пленки оптически оринтированных 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. Головки столбиков проявляют черты осолодения. В нижней части стенки столбиков покрыты блестящими корочками глины с яркими сизыми пятнами. Внутри столбиков, даже 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 в виде одежд на минералах, по порам и трещинам, в общем образующих струйчато-пленочное и спутанно-волокнистое строение. Карбонатная белоглазка состоит из изометрических пылевых зерен кальцита.

Распределение гипса и карбонатов по профилю в серо-бурых почвах очень сильно варьирует в пространстве как по глубине залегания гипсоносного горизонта, так и по мощности и содержанию гипса. Глубина залегания верхней границы гипсоносного горизонта колеблется от 30 до 100 см, нижней до 2—7 м от поверхности. Местами гипсоносный слой отсутствует. Гипс чаще шестоватой формы. Содержание гипса от нескольких процентов до 50.

Почвы Красноводского плато характеризуются лучше развитым профилем, меньшей механической нарушенностью горизонтов, более однородным гипсоносным горизонтом (табл. 13). Последний характеризуется и более высоким содержанием подвижных форм полуторных гидроокислов и кремнекислоты (выносящихся при декальцинировании почвы 0,02 н. HCl).

Интересно, что в Каршинской степи серо-бурые почвы, только с более мощным профилем и без ярко выраженной ноздреватой корки, обнаруживаются в погребен-

Таблица 13. **Емкость обмена катионов, содержание гумуса и состав кислоторастворимых веществ в серо-бурых почвах**

| № разреза, местоположение | Глубина, см | Емкость обмена катионов, мг-экв. на 100 г почвы | Гумус | $CaCO_3$ | $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ | Подвижные формы | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | $Fe_2O_3$ | $Al_2O_3$ | $SiO_2$ |
| | | | % | | | % на бескарбонатную и безгипсовую навеску | | |
| 403, Красноводское плато | 0—5 | 4,3 | 0,70 | 21,0 | 0,12 | 0,33 | 0,61 | 0,82 |
| | 19—29 | 5,5 | 0,47 | 24,5 | 0,38 | 0,35 | 0,62 | 1,00 |
| | 33—49 | 2,0 | 0,42 | 8,0 | 62,5 | 0,87 | 1,48 | 2,77 |
| | 50—60 | 2,7 | 0,46 | 9,0 | 55,2 | 1,07 | 1,85 | 2,83 |
| | 80—90 | 5,0 | 0,31 | 13,3 | 13,9 | 0,33 | 0,83 | 1,03 |
| | 110—120 | 4,9 | 0,17 | 14,6 | 9,8 | 0,19 | 0,45 | 0,58 |
| 404, то же | 0—6 | 4,8 | 0,93 | 17,6 | 0 | 0,44 | 0,91 | 0,87 |
| | 0—8 | 5,6 | 0,12 | 16,6 | 0,11 | 0,75 | 0,50 | 0,84 |
| | 12—22 | 6,9 | 0,23 | 17,6 | 0 | 0,74 | 0,40 | 1,02 |
| | 50—60 | 6,2 | 0,35 | 18,0 | 1,78 | 0,73 | 0,44 | 0,98 |
| | 80—88 | 5,4 | 0,47 | 21,6 | 23,6 | 1,14 | 1,43 | 1,99 |
| | 90—100 | 4,6 | 0,17 | 14,6 | 31,3 | 1,18 | 1,01 | 2,02 |
| | 116—126 | 2,1 | 0,12 | 6,0 | 59,4 | 0,92 | 2,80 | 6,37 |
| | 148—158 | 2,3 | 0,23 | 4,8 | 59,2 | 0,78 | 0,78 | 5,06 |
| | 183—193 | 1,7 | 0,04 | 5,3 | 67,9 | 1,78 | 1,04 | 4,71 |
| 399. Девханинское плато | 0—3 | 4,6 | 0,76 | 28,0 | 0 | 0,42 | 0,89 | 1,03 |
| | 3—8 | 5,9 | 0,52 | 23,0 | 0 | 0,53 | 0,90 | 1,10 |
| | 8—15 | 6,7 | 0,58 | 19,5 | 0 | 0,38 | 0,99 | 0,99 |

ном состоянии под аллювиальными, пролювиальными и эоловыми отложениями на большой площади.

По нашему мнению, накопленных материалов уже достаточно, чтобы однозначно решить вопрос о принадлежности типа серо-бурых к числу почв, в которых черты палеогенного происхождения доминируют, определяют их колорит.

Серо-бурые почвы ранее назывались структурными, кыровыми сероземами. Наличие комковатого или комковато-глыбистого оглиненного горизонта с морфологическими признаками солонцеватости и крупной белоглазкой, горизонта журавчиков и шестоватого гипса с включением щебня — черты не современного зонального почвообразования, а древнего (карбонатная белоглазка уже в верхней части профиля, сильная оглиненность коричневато-бурого иллювиального горизонта, шестоватый гипсоносный горизонт). Эти процессы могли происходить в условиях более влажного и теплого климата с периодической сменой влажных, теплых и сухих, жарких сезонов года. О наличии таких условий в Средней Азии в прошлом свидетельствуют палеогеографические данные (Бабаев, Федорович, 1970).

Серо-бурые почвы среди сероземов отличаются от серо-бурых пустынных отсутствием пористой такыровидной корки и наличием верхнего облессованного горизонта в несколько сантиметров, густо переплетенного корнями эфемеров.

В южной части среднеазиатских пустынь к настоящему времени большая часть прасеро-бурых почв повышенных элементов 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, часто солонцеваты, очень часто гипсоносны. Солончаковатость несколько метаморфизирована современными процессами эоловой и делювиальной дифференциации почвенного материала. Отсюда повышенно-хлоридный состав серо-бурых почв. На продуктах разрушения древних прасеро-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 третичные плато — понижения древней поверхности.

По-видимому, только в северной части среднеазиатских пустынь серо-бурые почвы, по описанию Е. В. Лобовой (1960), занимают господствующее положение в ландшафте и представляют там звено автоморфного современного зонального пустынно-суббореального почвообразования. В субтропической части пустынь древние реликтовые почвы неустойчивы, они продолжают разрушаться полностью или частично и замещаться пустынными песчаными почвами.

Мелиоративные качества серо-бурых почв определяются мало удовлетворительными водно-физическими свойствами. Почва обладает высокой влагоемкостью надгипсового горизонта, но малыми запасами доступной злаги для растений, узким диапазоном влажности в состоянии спелости и другими неблагоприятными особенностями, свойственными такыровым почвам. Если для надгипсовой части серо-бурых почв характерна высокая уплотненность и малая порозность (40—45%), то гипсоносный горизонт, напротив, слишком порист (50—60%), склонен к просадкам даже в сухом виде при механических нагрузках. Все это свидетельствует о неудовлетворительных мелиоративных качествах этих почв даже при глубоком залегании гипса.

Возможность освоения серо-бурых почв определяется глубиной залегания гипсового горизонта и свойствами надгипсового слоя. Они пригодны для орошения, если мощность надгипсового слоя при удовлетворительных свойствах не менее 60 см. Буринг (Buringh, 1960) считал такие почвы пригодными для орошения при верхней границе гипсоносного горизонта не менее 100 см от поверхности. Тем не менее в литературе имеются упоминания об орошении серо-бурых гипсоносных почв, но, как можно понять из описаний, они имеют несколько другие формы гипса — мелкозернистые и даже мучнистые в верхних горизонтах (Алимиганбетов), так что они не совсем аналогичны развитым на третичных плато. Орошенные часто располагаются в понижениях, возможно, это реликты древнесазовых почв; они должны рассматриваться особо.

Кроме плохих физических свойств серо-бурых почв, связанных с пептизированностью глинистой части, а иногда с высокой опесчаненностью и каменистостью, освоению этих почв препятствует неудобный рельеф, резко выраженный микрорельеф, большая пестрота почвен-

ного покрова, склонность к просадкам и развитию суффозионных явлений. Затраты на освоение таких земель (приведение поверхности в удобное для орошения состояние, а затем окультуривание почвы) очень большие.

Кроме того, серо-бурые почвы часто оказываются сильнозасоленными. Вопрос о пригодности этих почв должен решаться в конкретных условиях, при этом нужно принимать в расчет не только свойства почвы, но и комплексность покрова, рельеф поверхности, требования культуры, которую предполагается возделывать. При описании опытов эти стороны, необходимые для оценки пригодности, часто не учитывают. Хотя эти опыты, несомненно, и имеют важное значение, но не решают проблемы в целом.

Весьма интересные результаты получены А. М. Расуловым (1976) для Каршинской степи в условиях полевого и вегетационного опыта. Если, по его данным, за эталон взять светлый серозем, то урожай хлопка-сырца на серо-бурой почве по разным вариантам опыта составляет 20—55% урожая на сероземе и только при внесении полных доз минеральных удобрений и навоза удается поднять урожай на серо-бурых до 85% урожая на сероземе (табл. 14).

Урожай хлопка-сырца на серо-бурой почве в условиях полевого опыта при внесении удобрений, включая навоз, в полной дозе составлял 40—47% урожая на светлом сероземе. На каждый центнер урожая, полученного на серо-бурой почве, израсходовано в 2—3 раза больше воды, чем на светлом сероземе. Абсолютный урожай хлопка на серо-бурой почве составил 15—16 ц/га, на светлом сероземе 32—40 ц/га. Это биологический урожай.

К настоящему времени нет четкости в критериях выделения серо-бурых почв. Одни почвоведы (Розанов, 1951) считали главным критерием гипсоносность. И к серо-бурым относили практически все гипсоносные почвы, развивающиеся в автоморфных современных условиях. Другие (Лобова, 1960; Кимберг, 1974) к серо-бурым относят все почвы пустынной зоны, не относящиеся к пустынным песчаным и такыровым. Одно время такыровидные почвы относили к серо-бурым, считая их зональным типом пустыни.

Фактически в серо-бурые попадают генетически разные почвы: от неразвитых хрящевато-песчаных почв на

Таблица 14. **Урожай хлопка-сырца в вегетационном опыте** (горизонт 0—25 см) (Расчеты по Расулову, 1976)

| Вариант | Повторность | | | | Домо-розный сбор | После-морозный сбор | Всего |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | IV | | | |
| **Светлый серозем, г/сосуд** | | | | | | | |
| Контроль | 10,4 | 13,3 | 11,8 | 10,1 | 8,8 | 2,6 | 11,4 |
| N | 55,9 | 55,3 | 57,0 | 57,6 | 42,7 | 14,7 | 57,4 |
| P | 5,7 | 5,7 | 10,6 | 8,8 | 7,0 | 0,7 | 7,7 |
| NP | 106,4 | 113,3 | 119,7 | 100,7 | 71,7 | 38,6 | 110,1 |
| NPK | 128,6 | 107,1 | 107,2 | 118,0 | 85,5 | 38,5 | 118,2 |
| NPK+навоз | 124,8 | 122,6 | 129,1 | 116,5 | 96,8 | 26,5 | 123,2 |
| **Серо-бурая почва на аллювии, г/сосуд** | | | | | | | |
| Контроль | 4,1 | 3,1 | 4,3 | 3,4 | 2,7 | 1,0 | 3,7 |
| N | 13,3 | 14,3 | 12,5 | 13,1 | 5,8 | 7,5 | 13,3 |
| P | 4,5 | 3,8 | 4,0 | 4,9 | 2,1 | 2,1 | 4,2 |
| NP | 51,6 | 58,6 | 49,8 | 53,0 | 23,0 | 30,3 | 53,3 |
| NPK | 54,4 | 60,0 | 68,0 | 58,2 | 27,5 | 32,6 | 60,0 |
| NPK+навоз | 101,8 | 101,8 | 110,2 | 107,5 | 69,9 | 35,4 | 105,3 |
| **Серо-бурая почва, % от урожая по соответствующему варианту светлого серозема** | | | | | | | |
| Контроль | 39 | 23 | 36 | 34 | 31 | 38 | 32 |
| N | 24 | 24 | 22 | 23 | 14 | 51 | 23 |
| P | 79 | 67 | 38 | 56 | 30 | — | 54 |
| NP | 49 | 52 | 42 | 53 | 32 | 79 | 49 |
| NPK | 42 | 56 | 63 | 49 | 32 | 85 | 51 |
| NPK+навоз | 81 | 83 | 85 | 92 | 72 | 137 | 85 |

денудированных поверхностях древних плато и возвышенностей до полноразвитых суглинисто-гипсоносных почв с хорошей биологической переработкой мощного надгипсового горизонта, оструктуренного, матово-серовато цвета, с крупной и яркой белоглазкой в нижней части надгипсового горизонта, почвы, несомненно, в прошлом лугового происхождения. Среди серо-бурых можно видеть и настоящие почвы пустыни с каменистым панцирем на поверхности, серо-бурые солонцевато-осолоделые, почвы с различными формами гипсовых образований — мелкозернистых, плотных, среднезернистых, шестоватых, плотнокристаллических, а также с гетерогенными и гомогенными укороченными и удлиненными профилями. Настало время систематически изучить распространение серо-бурых почв, закономерности их развития

и мелиоративные качества. Среди них, несомненно, найдутся лучшие для освоения и такие, которые осваивать под орошение долгое время будет нерентабельным.

### Серо-коричневые гажевые почвы

В СССР серо-коричневые гажевые почвы наиболее изучены в районах северо-восточной окраины Малого Кавказа и на Самгорской равнине (Восточная Грузия).

Сильногипсоносные почвы типа гажевых известны также в Африке, Передней Азии, Австралии и в других странах земного шара. В Испании и юго-западных штатах США сильногипсоносные почвы по условиям залегания и строению тоже очень близки к гажевым почвам Закавказья.

Многообразное сочетание эндогенных и экзогенных процессов, имеющих место на территории северо-восточной части Малого Кавказа, привело к образованию сложно устроенной поверхности. Здесь имели место извержения вулканов, внедрение интрузий, общие поднятия территории и складкообразование, эрозионные и аккумулятивные процессы.

Серо-коричневые гажевые почвы приурочены к двум геоморфологическим районам; району высоких предгорий и району древних валунно-галечниковых конусов выносов.

В климатическом отношении описываемая территория располагается в зоне сухих субтропиков, отличающихся обилием тепла, света и малым количеством атмосферных осадков. Кура-Араксинская низменность в целом отличается от Западного Закавказья более сухим климатом, а от Средней Азии — меньшей континентальностью, более теплой и сухой зимой, влажной весной.

На территории много рек, но они маловодны, сток их не урегулирован, так как основным источником их питания являются дождевые и снеговые воды. Грунтовыми водами данная территория также бедна. За исключением района современных конусов выносов горных рек и речных долин, они не образуют сплошного зеркала и движутся отдельными струями по трещинам и понижениям, выполненным грубообломочным материалом.

Основным зональным типом почв равнин, развивающихся под солянково-полынными и бородачово-полынными группировками, являются (по А. Н. Розанову)

серо-коричневые почвы, к одному из подтипов которого относятся серо-коричневые гажевые почвы.

Для районов распространения серо-коричневых гажевых почв характерна сильная расчлененность поверхности. В районах высоких предгорий имеется множество останцовых высот, характерно также наличие крутых террасовидных расчлененных склонов. В районе древних конусов выноса рельеф представлен рядом валунно-галечниковых грив и глубоких ложбин между ними, что придает поверхности вид наклонной волнистой расчлененной равнины.

Серо-коричневые гажевые почвы залегают в основном на высотах от 200 (300) до 700 (800) м над уровнем моря. Они сформировались под солянково-полынными и бородачово-полынными группировками, при этом для растительного покрова гажевых почв характерно присутствие особых видов растений, так называемых гипсолюбов. Густота стояния растений постепенно уменьшается от верхней границы распространения гажевых почв к нижней. В этом же направлении наблюдается и снижение содержания гумуса в почвах от 4,5% (редко более) до 2%. Наиболее гумусные почвы приурочены к району высоких предгорий, менее гумусные — к району древних валунно-галечниковых конусов выносов.

Районы распространения серо-коричневых гажевых почв имеют комплексный почвенный покров. Компоненты комплекса различаются между собой по мощности гумусового горизонта, степени загипсованности и другим признакам; они имеют вытянутые контуры по уклону поверхности.

По морфологии в профиле серо-коричневых гажевых почв выделяются три ярко выраженных горизонта: гумусовый, гажевый и материнская порода. С поверхности почва обычно имеет так называемый каменистый панцирь или песчано-щебнистый покров. Гумусовый горизонт мощностью до 30—40 см, редко более, имеет серо-коричневый цвет, комковато-зернистую структуру, галечниково- или щебнисто-суглинистый механический состав. При большой мощности надгажевого горизонта в нижней части гумусового горизонта выделяется карбонатный подгоризонт, который отличается большей плотностью, повышенной карбонатностью, более тяжелым механическим составом и слабо выраженной структурой.

При изучении почв в шлифах под микроскопом вы-

явилось, что гумусовый горизонт имеет хорошо выраженную агрегационную структуру. Агрегаты размером 1—3 мм и менее имеют округлую форму и соединяются друг с другом на стыках. Они состоят из песчано-пылеватых частиц, представленных первичными породообразующими минералами и обломками пород, сцементированных карбонатно-гумусово-глинистой массой. Последняя имеет микрозернистую рыхлую структуру.

Мощность гажевого горизонта около 40 см, более редко до 80 см. Среди других горизонтов он выделяется белесым цветом, плотностью и мучнистостью. Обычно включает обломки горных пород, количество которых сверху вниз возрастает от нескольких процентов до 70—80%.

Под микроскопом гажевый горизонт имеет относительно однородную микрозернистую структуру, состоит в основном из кристаллов гипса таблитчатой формы. Размер их выражается в сотых и тысячных долях миллиметра. В массе микрокристаллического гипса рассеяны оглинившиеся и слабо измененные обломки пород и минералов, редко органические вещества. Кристаллы гипса прилегают плотно друг к другу. Масса гажи пронизана ходами корней, вокруг которых образуются карбонатно-гипсовые трубочки. С глубиной размеры кристаллов несколько увеличиваются.

Глубже гажевого горизонта идет материнская порода, представленная коренными горными породами или валунно-галечниковыми отложениями, более редко щебнисто-мелкоземистым делювием-пролювием. В верхних горизонтах горные породы в той или иной степени затронуты выветриванием. В этих горизонтах гипс образуется в виде более крупных кристаллов, имеющих по пустотам волокнистую форму.

Качественный состав минералов зависит от исходной почвообразующей породы, остатки которой в виде ее отдельных обломков и породообразующих минералов наблюдаются по всему профилю. Среди последних почти во всех почвах обнаружены полевые шпаты (чаще плагиоклазы), кварц, пироксены, амфиболы, эпидоты, хлориты, рудные, более редко слюды. Среди первичных минералов также отмечен и кальцит.

Вторичные минералы представлены гипсом, кальцитом, лимонитом и др. Среди минералов тонкой фракции преобладают гидрослюдисто-монтмориллонитовые

минералы. В гажевом горизонте состав минералов илистой фракции оказался разным в зависимости от характера горных пород, на которых сформировались эти почвы. В гажевом горизонте некоторых почв были обнаружены гидраргиллит и минерал каолинитовой группы.

По содержанию гумуса серо-коричневые гажевые почвы разделяются на темные, с содержанием гумуса более 3%, и светлые, которые содержат менее 3% гумуса в верхнем горизонте. Светлые серо-коричневые гажевые почвы отличаются от темных еще и меньшей мощностью гумусового профиля и присутствием в нижних слоях почв легкорастворимых солей, представленных сульфатами магния и щелочей в количестве до 8—9 мг·экв. на 100 г мелкозема почвы, и незначительным количеством хлоридов (табл. 15).

Таблица 15. **Распределение гумуса, гипса, карбонатов, скелета и мелкозема по профилю светлых серо-коричневых гажевых почв на валунно-галечниковых отложениях**

| № разреза | Глубина, см | Состав почв, % общей массы | | Состав мелкоземистой части почв | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | скелет (частицы > 1 мм) | мелкозем (частицы < 1 мм) | гумус по Тюрину | гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ | $CaCO_3$ | нерастворимая часть (преимущественно алюмосиликатная) | механический состав по Качинскому (в % на бескарбонатную и безгипсовую навеску) частиц размером, мм | | |
| | | | | % на мелкозем почвы | | | | 1—0,1 | <0,01 | <0,001 |
| 56 | 0—6 | 8 | 92 | 2,6 | 0,9 | 6,6 | 92,5 | 30,1 | 36,9 | 17,9 |
| | 7—14 | 6 | 94 | 1,2 | 70,5 | 7,9 | 21,6 | 18,2 | 36,2 | 26,9 |
| | 15—25 | 4 | 96 | 0,4 | 77,9 | 6,1 | 16,0 | 8,6 | 35,1 | 26,2 |
| | 35—45 | 15 | 85 | 0,2 | 84,6 | 2,5 | 12,9 | 17,1 | 36,7 | 25,2 |
| | 55—65 | 61 | 39 | 0,2 | 62,2 | 1,9 | 35,9 | 18,6 | 25,8 | 9,04 |
| | 75—85 | 76 | 24 | — | 32,9 | 3,9 | 63,2 | — | — | — |
| | 110—120 | 78 | 22 | — | 17,9 | 3,2 | 78,9 | 60,0 | 22,4 | 12,2 |
| 563 | 0—5 | 9 | 91 | 2,6 | 0,4 | 14,4 | 85,2 | 12,6 | 28,9 | 64,8 |
| | 9—19 | 8 | 92 | 2,0 | 0,4 | 19,9 | 79,7 | 11,3 | 35,2 | 57,6 |
| | 23—26 | 4 | 96 | 1,7 | 47,9 | 14,0 | 38,1 | 8,2 | 34,3 | 50,9 |
| | 31—41 | 5 | 95 | 0,6 | 72,0 | 2,4 | 25,6 | 2,4 | 16,0 | 22,4 |
| | 55—65 | 21 | 79 | — | 62,6 | 7,1 | 30,2 | 15,3 | 20,0 | 34,3 |
| | 90—100 | 78 | 22 | — | 43,7 | 6,5 | 49,8 | 46,3 | 12,0 | 24,7 |

Серо-коричневые гажевые почвы, за небольшим исключением, все карбонатны с поверхности (табл. 15). Максимум карбонатов при большой мощности надга-

жевого горизонта приурочен к нижней части гумусового и располагается выше гипсового. Содержание $CaCO_3$ в нем достигает иногда 15—20, а обычно 5—6%; в верхних и более глубоких слоях содержание его уменьшается до нескольких процентов (рис. 4).

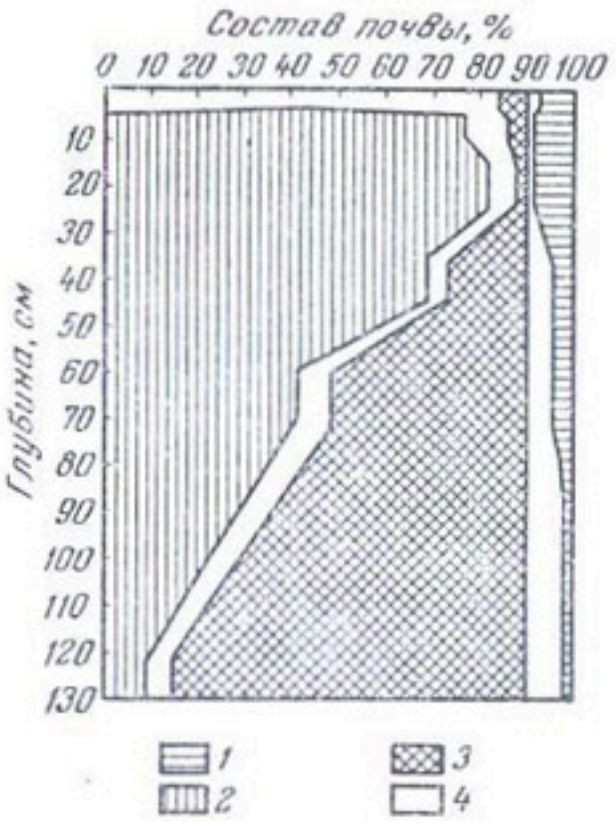


Рис. 4. Распределение гипса, карбонатов, мелкозема и каменистых обломков по профилю серо-коричневой гажевой почвы:

*1* — карбонаты; *2* — гипс; *3* — каменистые обломки; *4* — мелкозем.

Содержание гипса в гумусовом горизонте обычно менее 0,5%, в гажевом иногда возрастает до 70—80% от мелкозема почвы, но чаще 30—60%. Максимум гипса приурочен к средней части гажевого горизонта.

Исследования гажевых почв, сформировавшихся на коренных и грубообломочных породах, показали, что они имеют одинаковое строение почвенного профиля и вещественный состав наряду с наличием некоторых несущественных различий. Это позволяет сделать вывод, что серо-коричневые гажевые почвы и в районе высоких предгорий, где они развиты на продуктах выветривания коренных пород, в районе древних валунно-галечниковых конусов выносов, сложенных грубообломочными породами, на продуктах выветривания которых они развиваются, имеют одинаковое происхождение. Образование в серо-коричневых гажевых почвах гипса, минералов лимонита по пириту, гидраргиллита и в меньшей мере других сульфатов (ярозита) происходит в результате выветривания горных пород, содержащих в своем составе сульфиды, а в некоторых случаях — основные сульфаты. Следовательно, вопрос о происхождении гипса в данных условиях может быть объяснен с помощью гипотезы элювиального гипсообразования.

Труднее поддается объяснению причина аккумуляции гипса в этих почвах в таких больших количествах.

Подсчеты показывают, что содержание $SO_3$ в расчете на всю массу метровой толщи почв, включая и скелет, составляет от 3 до 12%. Среди изверженных пород встречаются такие, которые содержат 1—3 и даже до 6% $SO_3$. При этом гажевые почвы на коренных породах гипса содержат обычно меньше, чем почвы крутых шлейфов и древних конусов выносов. Таким образом, в единичных случаях можно считать, что гипс образуется на месте и накапливается в количествах, соответствующих исходному содержанию серы в горных породах. В большинстве же случаев содержание $SO_3$ в почвенной толще в несколько раз превышает количество $SO_3$ в исходной породе. Отсюда следует вывод, что при развитии почв происходит обогащение их гипсом. Районы же распространения серо-коричневых гажевых почв не имеют близкого уровня грунтовых вод, они не представляют собой в настоящее время и не представляли в прошлом периферийных частей конусов выносов. Это верхняя часть древней наклонной равнины и высокие предгорья.

Об этом свидетельствует не только геоморфология, но и литологический состав слагающих пород. В процессе формирования этой части наклонной равнины (верхних частей древних конусов выносов) здесь сгружались наиболее крупные обломки меловых и юрских пород, а более тонкие продукты выветривания — мелкозем и легкорастворимые соли — проносились дальше и отлагались в периферийных частях. Кроме того, со времени последнего мощного поднятия Малого Кавказа валунно-галечниковые древние конусы выноса подвержены процессам преобладающей денудации. С их поверхности, по-видимому, снесены значительные толщи древних отложений, о чем свидетельствуют встречающиеся на древних конусах валунно-галечниковые холмы, останцы и обнаженные интрузии в районе высоких предгорий, которые сложены, главным образом, меловыми эффузивами и обнаженными интрузивными породами.

Серо-коричневые гажевые почвы не имеют максимального скопления карбонатов ниже гипсового горизонта, как это свойственно солончаково-гипсоносным почвам. Они менее карбонатны, чем гидрогенные почвы. Более того, среди них есть практически бескарбонатные почвы. Гипс в серо-коричневых гажевых почвах находится в микрокристаллической форме — в виде мельчайших табличек; вместе с другими продуктами вывет-

ривания он образует мучнистую белесую массу, известную в Закавказье под названием гажи. Гажевый горизонт не имеет такой сильной уплотненности и цементации, как арзык, в связи с этим он более проницаем, чем последний.

Все это свидетельствует о том, что формирование серо-коричневых гажевых почв происходило в других условиях, чем гидроморфных сильногипсоносных почв, следовательно, теория солончакового гипсонакопления не может объяснить особенностей гипсонакопления и формирования почвенного профиля серо-коричневых гажевых почв.

Накопление гипса в автоморфных почвах в условиях верхних частей наклонных равнин и предгорных районов в пустынно-степных условиях может быть результатом своеобразно протекащей на их территории дифференциации продуктов выветривания и почвообразования.

Прежде всего дифференциация продуктов выветривания происходит по профилю почв при увлажнении их атмосферными осадками. Наиболее подвижные вещества (гипс и др.), образующиеся при выветривании пород и минерализации растительных остатков, вмываются до глубины увлажнения почв осадками. Поскольку осадков выпадает мало, растворимые соли не могут вымываться полностью из почвенной толщи, они выкристаллизовываются при расходовании почвенной влаги на испарение и транспирацию в средней и нижней частях почвенного профиля. При этом на поверхности остаются нерастворимые и труднорастворимые продукты выветривания и почвообразования (карбонаты, алюмосиликаты и др.), и одно это уже способствует аккумуляции гипса на контакте с материнской породой.

Дифференциация продуктов выветривания и почвообразования происходит также и по склону под влиянием сил тяжести. При этом наблюдается два способа передвижения веществ по склонам: а) в виде взвесей (твердый сток) и б) в виде растворов. Передвижение по уклонам поверхности и удаление продуктов выветривания и почвообразования в виде твердого стока наблюдается при выпадении ливневых осадков. Образующиеся при этом делювиально-пролювиальные потоки смывают наиболее тонкие частицы с поверхности почв. Как уже отмечалось, эти частицы представлены трудно-

растворимыми и нерастворимыми веществами (карбонатами, алюмосиликатами и др.). Такому перемещению веществ способствуют значительные уклоны и сильная расчлененность поверхности, а изреженный растительный покров слабо препятствует процессам смыва. По мере того как с поверхности уносится мелкозем почвы, атмосферные осадки при том же их количестве получают возможность глубже вмывать гипс, глубже проникать в подстилающие слои, вовлекая тем самым новые слои материнских пород в процесс выветривания и почвообразования. В результате этого образуются новые количества гипса, накапливающиеся в почвенном профиле. При большой длительности процесса в таких условиях он приводит к ощутимым результатам. Под покровом верхних гумусово-карбонатно-алюмосиликатных горизонтов гипс предохраняется от смыва.

Второй способ передвижения образующегося сульфата кальция и других солей в условиях рассматриваемой территории происходит в виде подвешенных почвенных растворов. Таким путем осуществляется перераспределение сульфата кальция по элементам микрорельефа и по уклону поверхности под влиянием сил тяжести в виде отдельных гравитационных капель и капиллярно-подвешенных вод. Это приводит к обогащению гипсом нижних частей склонов отдельных возвышенностей и прилегающих к ним щебнисто-мелкоземистых шлейфов и древних конусов выносов.

Поскольку с поверхности, как отмечалось, удаляется мелкозем делювиальными потоками, то накапливающийся на ней скелет и образует вышеописанный каменистый панцирь. При этом по мере сноса мелкозема атмосферная влага все глубже отодвигает границу гажевого горизонта. Последнее происходит при активном участии корневых систем растений, которые, проникая через гажевый горизонт вплоть до материнских пород, разрыхляют его. Гипс, взаимодействуя с продуктами минерализации растительных остатков, такими, как углекислые щелочи и аммоний, образует карбонаты кальция. Максимум карбонатов приурочен к нижней части гумусового горизонта или верхней части гажевого, хотя абсолютное содержание карбонатов, как указывалось выше, невелико. Кроме того, карбонаты здесь, как и в других горизонтах, образуются в результате выветривания кальцийсодержащих минералов.

Глубже гумусового и карбонатного залегает гажевый горизонт, который обогащается гипсом путем периодического вмывания сульфата кальция сверху атмосферной влагой и приноса его боковыми токами почвенных растворов. Микрозернистость гипса серо-коричневых гажевых почв обязана специфическому водному режиму, который характеризуется чередованием периодов увлажнения гажевого горизонта с периодами сильного их иссушения.

С глубиной нарастает количество обломков горных пород, находящихся в той или иной стадии выветривания, уменьшается количество гипса, и с глубины 1,5—2 м начинаются слои малоизмененных горных пород.

Серо-коричневые гажевые почвы частично используют под посевы зерновых и виноградники; большая же часть почв находится под целиной и перелогами.

Виноградники на таких почвах при хорошем уходе и достаточном поливе (4—5 раз за вегетационный период) дают большие урожаи винограда высокого качества. Плодородие почв под виноградниками повышается вследствие того, что под ними сильно ослаблены или прекращены процессы денудации и что под них вносят удобрения.

Зерновые культуры (пшеница) при возделывании на гажевых почвах дают более низкие урожаи, чем на обыкновенных серо-коричневых почвах. Кроме того, эти почвы, используемые под посевы зерновых культур, подвержены смыву, в результате уровень их плодородия снижается.

Изучение некоторых агрохимических и физических свойств серо-коричневых гажевых почв показывает, что они не имеют существенно отрицательных качеств, которые препятствовали бы их использованию в орошаемом земледелии.

Гумусовый горизонт хорошо проницаем и имеет наименьшую влагоемкость от 25 до 35%. Гажевый горизонт более плотный, удельный вес 2,38—2,45, объемный 1,2—1,4 г/см$^3$, редко более. Соответственно этим показателям порозность его намного меньше по сравнению с гумусовым горизонтом: если порозность последнего от 54 до 59%, то в гажевом горизонте она снижается до 30—48%. С уменьшением порозности снижается и водопроницаемость (0,2—1 м/сутки) гажевого горизонта: она в 3—4 раза меньше, чем водопроницаемость гумусово-

го. При вспашке водопроницаемость несколько возрастает, но все же остается намного меньше, чем в гумусовом горизонте. Небольшую водопроницаемость в условиях залегания на валунно-галечниковых рыхлых отложениях следует расценивать как положительное явление.

Гажевый горизонт является как бы естественным экраном, предохраняющим потери влаги в подстилающие слои. Кроме того, при меньшей влагоемкости гажевого горизонта (18—20% по весу) по сравнению с гумусовым он имеет малый коэффициент завядания (6 против 13—16% в гумусовом горизонте), и запасы доступной для растений влаги в нем не ниже, а в отдельных случаях выше, чем в гумусовом горизонте.

Серо-коричневые гажевые почвы по своим свойствам и условиям залегания наиболее пригодны под виноградники и плодовые насаждения.

Использование серо-коричневых гажевых почв под зерновые культуры должно осуществляться с применением специальных противоэрозионных мер. Следует отказаться от практики забрасывания полей под перелог без всякой покровной культуры, так как развивающиеся при этом процессы эрозии приводят к разрушению почв, снижению их плодородия.

Серо-коричневые гажевые почвы обычно не засолены или слабо засолены в нижней части профиля и специальных промывок не требуют. Гажевые почвы бедны питательными элементами, особенно гажевый горизонт, нуждаются во внесении всех основных питательных элементов, особенно хорошо отзываются на органические удобрения (навоз, компосты, землистые смеси). Но не это качество определяет их пригодность под земледелие — питательные элементы легко пополняются искусственными удобрениями.

Степень пригодности гажевых почв определяется мощностью гумусового и гажевого горизонтов. Выше было отмечено, что водно-физические свойства гажевого горизонта удовлетворительны для орошаемой культуры. Суммарная мощность гумусового и гажевого горизонтов на землях, пригодных для орошения, должна быть не менее 120 см. Иначе трудно избежать потерь оросительной воды и трудно регулировать водное питание растений. А потери оросительной воды будут сопровождаться потерей гипса, его выщелачиванием со всеми послед-

ствиями деформации поверхности и суффозионными явлениями.

При мощности мелкоземистого гумусового и гажевого горизонтов более 120 см орошать растения можно по дефициту влаги в почве. Понятно, что ирригационная сеть должна быть в противофильтрационных одеждах.

Выбор культуры для возделывания на таких почвах во многом определяется мощностью гумусового горизонта и глубиной залегания гажевого. Гипсоносные почвы с глубиной верхней границы гажевого горизонта более 60 см пригодны практически под все культуры, возделываемые в районах их распространения. Поверхностно-гипсоносные почвы с мощным гажевым горизонтом, если содержание гипса не более 50%, пригодны только под гипсофильные травянистые культуры (люцерна), виноградники, абрикосовые насаждения и некоторые другие при условии хорошо удобренной почвы, особенно под посадками.

Серо-коричневые гажевые почвы с глубиной верхней границы гажевого горизонта 30—60 см пригодны под травы, пшеницу, кукурузу, сорго, просо, люцерну, сахарную свеклу, виноградники, плодовые, а при содержании гипса менее 25% — под хлопчатник.

Гажевые (микрозернистые) почвы среди гипсоносных относятся к числу наилучших по своим свойствам под сельскохозяйственные культуры, но и при этом их эксплуатация обходится примерно на 20% дороже, чем негипсоносных аллювиальных почв в условиях орошения, как это было установлено производственным опытом в Испании. На землях с гажевыми почвами чаще требуются планировки поверхности, более тщательные и частые поливы и обработки, повышенные дозы удобрений.

Интересно отметить, что гажевые почвы, описанные у нас на Кировабадском массиве в Азербайджане, Восточной Грузии, на высоких террасах р. Евфрат и в Испании, очень близки по свойствам гажевого горизонта, но несколько различаются по свойствам гумусового.

Высокая концентрация гипса в гажевом горизонте, его микрозернистость и отсутствие в нем вредных для растений солей, позволяют использовать гажу для химической мелиорации солонцов и сильноуплотненных (слитых) почв даже без предварительной ее подготовки.

## Гипсоносные солончаковые (сазовые) почвы

Эти почвы объединяют разные почвы гидроморфного ряда: сероземно-луговые гипсоносные, луговые гипсоносные, гипсоносные болотно-луговые и солончаки. Недавно считалось, что объяснить происхождение гипса для группы гидроморфных гипсоносных почв проще, чем для автоморфных. Процесс гипсонакопления рассматривался как современное накопление сульфата кальция из грунтовых вод. К настоящему времени с появлением новых фактов и более детального изучения состава, строения и условий распространения гипсоносных почв вырисовывается значительно более сложная история их формирования, чем это представлялось ранее. Прежде всего обнаруживается, что гипсоносные почвы приурочены к древним поверхностям, кроме того, их профиль формируется часто на осадках разного возраста, образовавшихся в значительно различающихся условиях почвообразования, что обнаруживается по разной степени выветрелости силикатной части почвообразующего материала. Гидроморфные гипсоносные почвы занимают низкие поверхности (по периферии конусов выносов и на межконусных пространствах, в депрессиях между древнедельтовыми аккумулятивными образованиями).

Низкое залегание древних поверхностей в современном рельефе обычно сочетается с приподнятостью (на 50—200 м) неогеновых ложе под ними по сравнению с окружающими территориями. Более молодые аллювиально-пролювиальные напластования на окружающих землях имеют значительно бóльшую мощность над неогеновым ложем. Большую мощность средне- и верхнечетвертичных отложений над неогеновой поверхностью на окружающих территориях можно объяснить более интенсивным прогибанием поверхности, сопровождавшимся ускоренным осадконакоплением в этих местах. Поверхности, где ныне обнаруживаются сильногипсоносные почвы, занимали более стабильное положение, и осадконакопление происходило или очень медленно, или прерывисто.

Таким образом, верхние слои на территории с гипсоносными почвами большее время находились в сфере влияния факторов выветривания, почвообразования и соле- и гипсонакопления. В некоторых случаях разно-

возрастность аккумулятивных поверхностей разных участков равнин замаскирована маломощным покровом пролювиально-делювиальных или эолово-делювиальных облессованных отложений. Покровы лессовидного материала над древними почвами пропитываются из восходящих грунтовых вод мелкокристаллическим гипсом, часто в количестве, превышающем его содержание в древних почвах.

В разрезе почв можно видеть смену горизонтов с мелкокристаллическим гипсом на крупнокристаллические горизонты, которые глубже, в свою очередь, снова переходят в погребенные слои с мелкокристаллическим гипсом. Такое чередование свидетельствует о периодической смене сухих и более влажных условий почвообразования.

К числу территорий с широким распространением гипсоносных почв относится Голодная и Джизакская степи. Гипсоносные почвы в современных условиях обнаруживаются в большинстве случаев в нижней части подгорной равнины на контактах с аллювиальной равниной, где грунтовые воды залегают неглубоко от поверхности, но встречаются и на приподнятых частях равнин и в межконусных пространствах с глубоким залеганием грунтовых вод. Формы образования гипса разнообразны: шестоватые на галечниках в юго-восточной части Голодностепской равнины, крупнокристаллические чечевицеобразные в периферии Зааминского конуса выноса, тонкомучнистые в бассейне р. Клы, мелкозернистые в почвах Обручевского понижения. Почвы Сардобинского, Джатысайского и других понижений также сильногипсоносны. Тот факт, что распространение гипсоносных почв в таких услоиях пока не поддается объяснению, показывает, что проблема гипсонакопления остается неизученной. В ее познании мелиоративное почвоведение находится на первой стадии накопления и изучения фактов. Не изучены и мелиоративные качества почв.

Большие трудности с освоением гипсоносных почв возникли в зоне Южноголодностепского канала. Земельный фонд совхозов им. Гагарина и им. Узакова оказался представлен в основном гипсоносными почвами, которые не удается освоить до настоящего времени. Около $^2/_3$ общей площади этих совхозов остается неосвоенной, а на освоенной средний урожай хлопчатника состав-

ляет 8—8,5 ц/га, не поднимаясь даже в наиболее урожайные годы более 14 ц/га. В то же время средний урожай в соседних совхозах на светлых сероземах составляет около 20 ц/га, в урожайные годы поднимается до 30 ц/га. Даже в специальных опытах Средазгипроводхлопка после мелиорации при оптимальных режимах орошения и агротехники не удается получить урожай более 17 ц/га. Тем не менее земли с такими почвами планируются под орошение, и на них уже в настоящее время ведутся освоительные работы.

Нижерассматриваемые почвы расположены по северо-восточной окраине конуса выноса Зааминсу, контактирующей с севера с Сырдарьинской аллювиальной равниной и на востоке переходящей (Обручевское понижение) к наклонной равнине, образованной так называемой группой Хавастских конусов выносов.

Как следует из материалов геологического строения (Туляганов, 1971), эта часть территории расположена на приподнятой поверхности неогена, отделенной от горной части глубоким прогибом, заполненным более молодым грубообломочным материалом с лессовым покровом среднечетвертичного возраста.

В районе с приподнятой неогеновой кровлей мощность верхних слоев пролювиально-делювиального происхождения составляет 25—45 м; состоят они из мелкоземистых тонкочастичных глинистых и суглинистых отложений с прослоями песков и супесей, в то время как места происхождения недавних потоков замаркированы отложениями песков и галечников. Эти отложения более позднего времени, чем формирование основной массы отложений Обручевского понижения и территории в периферии конусов. Уклон поверхности от 0,02 в южной части уменьшается до 0,008 к северу.

Для микрорельефа характерно чередование слабоповышенных широких поверхностей и более узких понижений по стоку делювиальных вод, редки эрозионные мелкие лощины. В низовьях — округлые замкнутые понижения.

В литологии верхней части, послужившей материнской породой для почвы, обнаруживается четыре комплекса.

1-й комплекс древних песчано-суглинисто-глинистых отложений, уплотненных, загипсованных и с коричневато-красноватыми тонами глинистых отложений (если они

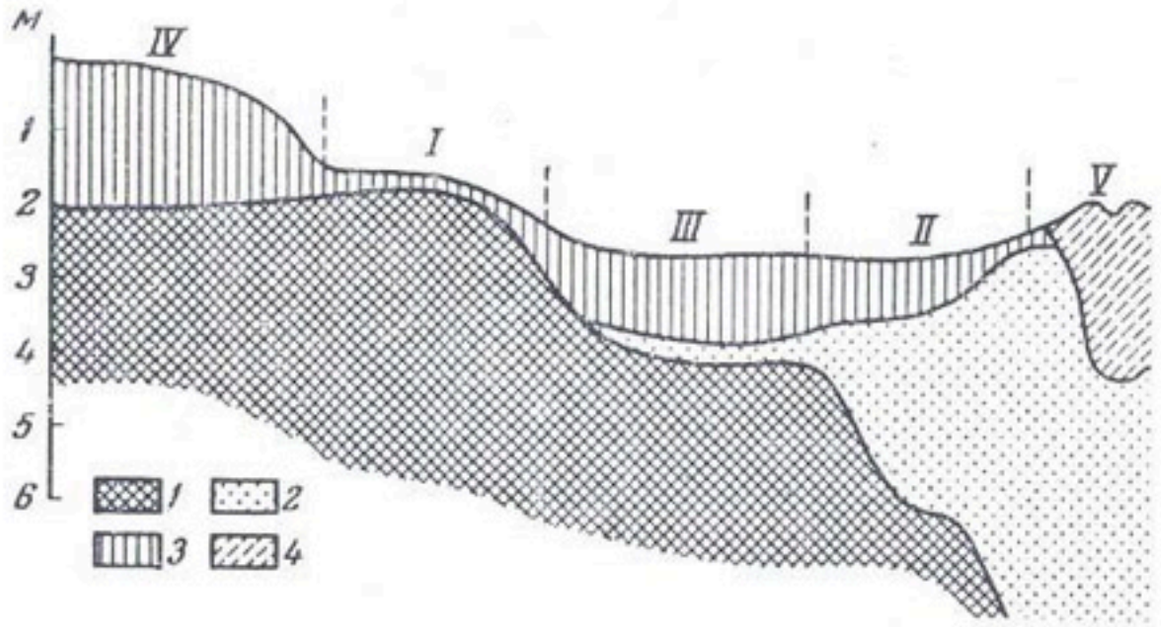


Рис. 5. Почвенно-литологический профиль гипсоносного солончака. Комплексы отложений:

*1* — древних тяжелых; *2* — молодых, легких; *3* — лессовидных покровных; *4* — новейших песчано-гравийных. *I—V* — почвенно-литологические типы строения профиля.

вне зоны оглеения); 2-й комплекс молодых, рыхлых и менее загипсованных супесчано-суглинистых отложений палевого цвета (при оглеении палево-сероватого); отложения 1-го и 2-го комплексов отчетливо слоистые; 3-й комплекс представлен маломощным покровом лессовидных суглинков и легкосуглинистых отложений (от нескольких сантиметров до 2 м, редко более); 4-й комплекс новейших супесчано-галечниковых отложений в местах прорыва временных небольших потоков от конусов горных рек.

По разному сочетанию выделяются пять литологических типов строения почвенного профиля (рис. 5, табл. 16).

I тип — почва, сформировавшаяся преимущественно на древних отложениях 1-го комплекса при отсутствии или наличии лессовидного покрова мощностью менее 50 см.

II тип — почва сформировалась на двучленном комплексе, сверху — лессовый покров до 1 м (3-й комплекс), подстилаемый слоистыми отложениями супесчано-суглинистого состава (2-й комплекс).

III тип — почвенный профиль сформирован на трехчленном комплексе: снизу, глубже 1,2—1,5 м, древние уплотненные песчано-глинистые отложения (1-й комплекс), выше, в средней части профиля (0,8—1,5 м), бо-

лее рыхлые песчано-супесчаные отложения (2-й комплекс) и выше 0,8 м — лессовидный покров (3-й комплекс).

Таблица 16. **Литологический состав гипсоносной почвы** (периферия межконусного понижения), % **от мощности слоя**

| Глубина слоя, м | Механический состав слоев | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | глинистый | тяжелосуглинистый | суглинистый | легкосуглинистый | супесчаный | песчаный | галечниковый |
| I почвенно-литологический тип | | | | | | | |
| 0—0,5 | 0,6 | 5,2 | 47,2 | 33,5 | 12,7 | 0,8 | Нет |
| 0,5—1 | 5,1 | 15,2 | 31,2 | 27,3 | 14,1 | 7,1 | » |
| 1—2 | 13,3 | 12,6 | 22,4 | 28,8 | 14,3 | 8,6 | » |
| 2—3 | 14,7 | 19,7 | 16,9 | 19,9 | 14,3 | 14,5 | » |
| 3—4 | 14,2 | 12,9 | 14,5 | 22,9 | 15,4 | 19,5 | 0,6 |
| 0—4 | 11,3 | 13,9 | 23,3 | 25,5 | 14,3 | 11,6 | 0,1 |
| II почвенно-литологический тип | | | | | | | |
| 0—0,5 | Нет | 1,5 | 35,5 | 55,0 | 8,0 | Нет | Нет |
| 0,5—1 | » | 7,6 | 37,9 | 27,3 | 22,7 | 4,5 | » |
| 1—2 | 0,7 | 16,1 | 12,9 | 26,5 | 21,3 | 22,0 | 0,5 |
| 2—3 | 6,3 | 7,1 | 14,1 | 26,0 | 20,5 | 26,0 | Нет |
| 3—4 | 5,2 | 4,9 | 15,2 | 25,1 | 20,4 | 26,4 | 2,8 |
| 0—4 | 3,0 | 8,2 | 19,8 | 29,7 | 19,4 | 19,1 | 0,8 |
| III почвенно-литологический тип | | | | | | | |
| 0—0,5 | Нет | Нет | 20,0 | 54,6 | 25,4 | Нет | Нет |
| 0,5—1 | » | 0,8 | 26,6 | 24,8 | 37,2 | 10,6 | » |
| 1—2 | 3,6 | 12,7 | 21,1 | 22,3 | 25,1 | 15,2 | » |
| 2—3 | 14,1 | 22,1 | 13,9 | 24,7 | 14,1 | 11,1 | » |
| 3—4 | 13,8 | 16,8 | 15,5 | 26,1 | 12,3 | 15,5 | » |
| 0—4 | 7,8 | 13,0 | 18,5 | 28,1 | 20,8 | 11,2 | » |

IV тип — почвенный профиль формируется на лессовидном покрове, который глубже 1,5—2 м подстилается древними малопроницаемыми отложениями.

V тип — почвенный профиль формируется на молодых слоистых отложениях по местам прохождения новейших водотоков без лессовидного покрова. Хорошо проницаемые, обычно менее засоленные почвы.

На рисунке 6 представлен участок гипсоносного солончака площадью 300 га, на котором равномерно распределено около 200 скважин (полевая работа выполнена под руководством В. С. Муратовой). По литологическому строению на участке выделено три почвенно-ли-

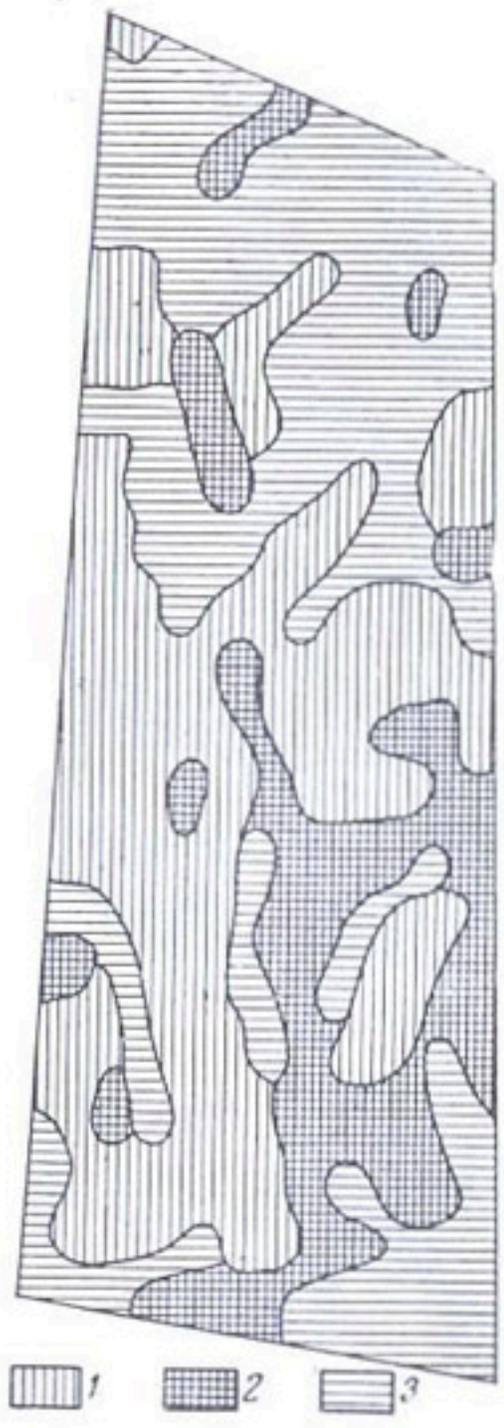


Рис. 6. Схема распределения глубин залегания верхней границы древних отложений в профиле гипсоносного солончака:

*1* — выше 50 см, I почвенно-литологический тип; *2* — глубже 100 см, II тип; *3* — 50—100 см, III тип.

тологических комплекса по критериям, установленным ранее (Егоров, Минашина, Мотузов, 1976). Затем для каждого комплекса произведен статистический анализ слоистости, который показал, что литологический состав на глубине 3—4 м от поверхности почвы для I и II типов одинаков. Мы их относим к древним (1-й комплекс). Верхний полуметр для всех трех типов одинаково представлен легкими и средними суглинками лессовидного покрова. Второй полуметр III типа и слой 0,5—3 м II типа представлены более опесчаненными мощными отложениями с включением тонкослоистых средних и тяжелых по составу прослоек.

В таблице 17 представлены данные о распределении слоев разного состава по мощности: I почвенно-литологический тип характеризуется большей мощностью глинистых и тяжелосуглинистых прослоек (до 200 см); II тип — большей мощностью супесчано-песчаных и легкосуглинистых слоев, а III — легкосуглинистых. Распределение слоев по мощности для всех типов ближе к логнормальному, оно показывает два максимума мощностей слоев (10—20 см и 41—60 см). Такое распределение свидетельствует о том, что данный участок по формированию верхних 4 м занимает периферийное положение на массиве. Возможно другое объяснение — высотное положение изученного участка относительно окружающих пространств нестабильно и находится в развитии.

Таблица 17. **Распределение прослоек разного состава по мощности, % от числа случаев, встреченных для данного состава**

| Мощность слоя, см | Почвенно-литологический тип | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | | | | | | II | | | | | | III | | | | | |
| | глина | тяжелый суглинок | суглинок | легкий суглинок | супесь | песок | глина | тяжелый суглинок | суглинок | легкий суглинок | супесь | песок | глина | тяжелый суглинок | суглинок | легкий суглинок | супесь | песок |
| 10—20 | 34,0 | 35,3 | 32,4 | 31,3 | 35,4 | 32,5 | 61,2 | 45,1 | 28,3 | 30,1 | 31,2 | 20,4 | 31,3 | 27,7 | 29,9 | 30,0 | 34,2 | 25,4 |
| 21—40 | 17,7 | 17,6 | 18,0 | 16,0 | 25,8 | 26,8 | 16,7 | 22,6 | 20,0 | 14,6 | 24,6 | 18,2 | 23,5 | 22,4 | 16,8 | 16,0 | 19,2 | 19,9 |
| 41—60 | 22,6 | 22,3 | 25,9 | 25,2 | 21,5 | 23,9 | 16,7 | 12,9 | 15,0 | 27,7 | 19,7 | 20,5 | 27,5 | 27,6 | 26,2 | 27,3 | 21,9 | 28,6 |
| 61—80 | 4,8 | 10,6 | 10,1 | 4,6 | 3,2 | 2,8 | 5,6 | 6,5 | 21,8 | 6,0 | 6,6 | 9,1 | 5,9 | 6,6 | 15,9 | 9,3 | 7,0 | 6,3 |
| 81—100 | 11,3 | 9,4 | 7,9 | 10,7 | 10,8 | 5,6 | Нет | 6,5 | 10,0 | 8,4 | 9,8 | 13,6 | 7,8 | 9,2 | 5,6 | 10,7 | 9,6 | 12,7 |
| 101—120 | 1,6 | 1,2 | 1,4 | 3,1 | Нет | 1,4 | » | Нет | Нет | 2,4 | Нет | 4,5 | 2,0 | 2,6 | 1,9 | 0,7 | 1,8 | 3,2 |
| 121—140 | 3,2 | 1,2 | 2,2 | 3,1 | » | 2,8 | » | 3,2 | 5,0 | 3,6 | 1,6 | 2,3 | | 2,6 | 1,9 | 1,3 | 1,8 | 1,6 |
| 141—160 | 1,6 | 1,2 | 0,7 | 3,1 | 1,1 | 2,8 | » | — | — | 4,8 | 1,6 | 6,8 | 2,0 | 1,3 | 0,9 | 2,0 | 0,9 | — |
| 161—180 | 1,6 | | 1,4 | 2,3 | Нет | Нет | » | — | — | 1,2 | 3,3 | — | — | — | — | — | — | 1,6 |
| 181—200 | 1,6 | 1,2 | Нет | Нет | 2,2 | 1,4 | » | 3,2 | — | 1,2 | 1,6 | — | — | — | 0,9 | 1,3 | 1,8 | 1,6 |
| 201—220 | Нет | Нет | » | » | Нет | Нет | » | — | — | — | — | 2,3 | — | — | — | — | 0,9 | — |
| 221—240 | » | » | » | » | » | » | » | — | — | — | — | 2,3 | — | — | — | 0,7 | 0,9 | — |
| 241—260 | » | » | » | 0,9 | » | » | » | — | — | — | — | — | — | — | — | 0,7 | — | — |
| Средняя, см | 47,7 | 48,4 | 50,3 | 58,0 | 43,9 | 43,9 | 36,1 | 50,2 | 48,3 | 51,2 | 50,8 | 60,1 | 50,4 | 56,3 | 44,5 | 60,1 | 43,6 | 56,3 |
| Квадратическое отклонение | 40,1 | 36,7 | 37,0 | 48,5 | 35,5 | 37,1 | 29,2 | 60,1 | 36,9 | 38,7 | 45,3 | 52,7 | 37,4 | 34,0 | 27,1 | 51,2 | 30,2 | 36,4 |
| Частота встречаемости прослоек, % | 10,6 | 14,6 | 23,8 | 22,5 | 16,0 | 12,5 | 6 | 10,3 | 20,1 | 27,8 | 20,4 | 14,7 | 9,0 | 13,5 | 19,1 | 26,5 | 20,0 | 11,2 |
| Частота встречаемости типа, % | I—40,3 | | | | | | II—20,8 | | | | | | III—38,9 | | | | | |

Более четкие различия между древними и современными отложениями видны по составу фракций. Механический состав силикатной части почвы (анализ по Качинскому с разрушением карбонатов; табл. 18) в пределах лессового покрова, представленный легкими и средними суглинками, практически не отличается от механического состава типичного лесса: отложения слабоиловатые (частиц меньше 0,001 мм — 9—11%), высокопылеватые. Песчаные частицы практически отсутствуют, частиц 0,05—0,1 мм мало (8—16%). На 80% почва состоит из средней и мелкой пыли. Минеральная часть почвы слабовыветрелая. Содержание частиц ила (меньше 0,001 мм) в составе физической глины (меньше 0,01 мм) почти всегда меньше 35%.

В отличие от лессового покрова древние отложения по составу силикатной части значительно более илисты. Содержание ила в них 10% и более даже для супесей и легких суглинков, а в глинистых слоях более 40%. Отношение веса фракции ила (меньше 0,001 мм) к фракции физической глины (меньше 0,01 мм) в них обычно более 50%, что указывает на значительно бóльшую выветрелость первичных минералов. Древние отложения больше закарбоначены, чем лессовые покровы (16,1 и 12,5% в среднем), но различий в гипсоносности не обнаружилось, если судить по весу гипса. Верхние покровы загипсованы часто даже больше, чем древние подстилающие слои. Но формы разные. Покровы накапливают гипс в виде мучнистых и мелкозернистых скоплений. В древних отложениях гипс средне- и крупнокристаллический. Это показывает, что накопление гипса в древних и современных покровах шло в разных условиях.

Древние отложения более сильно уплотнены, средний объемный вес их 1,56 по сравнению с 1,42 г/см$^3$ для верхних слоев, что при равном количестве гипса соответствует порозности 41 и 47% (табл. 19). К сожалению, у нас нет данных для характеристики молодых пролювиальных отложений. Для изученной территории они составляют небольшую часть объема 4-метрового слоя (около 10—15%) и не попали в анализ. Визуально они менее плотные и менее гипсоносные.

В таблице 19 представлены данные о распределении гипса и карбонатов по профилю почв. Объемный вес в верхней части профиля почв меньше, чем в средней и нижней, т. е. нижние части более древние, сильнее уп-

Таблица 18. **Содержание гипса и карбонатов в лессовидных покровах и древних отложениях и их механический состав**

| Механический состав | $CaCO_3+MgCO_3$ | $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ | Механический состав (в % от силикатной части почвы), размер частиц, мм | | | | | | | | <0,001 | Объемный вес почвы, г/см³ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | % от веса почвы | | 1—0,25 | 0,25—0,1 | 0,1—0,05 | 0,05—0,01 | 0,05—0,005 | 0,005—0,001 | <0,001 | <0,01 | <0,01 | |
| **Лессовидные покровы** | | | | | | | | | | | | |
| Суглинистый | 12,1 | 26,2 | 0,6 | 6,1 | 1,0 | 46,1 | 14,1 | 20,6 | 11,5 | 46,2 | 0,25 | 1,57 |
| | 12,7 | 15,9 | 0,1 | 1,8 | 10,3 | 52,9 | 12,6 | 13,2 | 9,1 | 44,9 | 0,26 | 1,35 |
| | 8,8 | 36,4 | 0,3 | 1,7 | 8,8 | 53,7 | 12,1 | 12,6 | 10,8 | 35,5 | 0,35 | 1,57 |
| | 14,6 | 0,5 | 0,1 | 1,4 | 12,3 | 54,9 | 6,3 | 14,5 | 10,5 | 31,3 | 0,33 | 1,25 |
| Легкосуглинистый | 14,9 | 1,0 | 0,1 | 1,4 | 10,1 | 54,9 | 8,2 | 12,1 | 9,2 | 29,5 | 0,31 | 1,36 |
| | 14,2 | 15,0 | 0 | 1,6 | 15,8 | 56,0 | 7,3 | 10,4 | 8,9 | 26,6 | 0,27 | 1,51 |
| | 10,4 | 26,0 | 0,2 | 1,7 | 11,5 | 54,4 | 11,3 | 12,3 | 8,6 | 32,2 | 0,27 | 1,35 |
| Среднее | 12,5 | 18,7 | 0,2 | 2,24 | 9,97 | 53,3 | 10,5 | 14,0 | 9,8 | 34,2 | 0,29 | 1,42 |
| **Древние отложения** | | | | | | | | | | | | |
| Глинистый | 15,0 | 6,3 | 0,3 | 1,2 | 3,2 | 13,5 | 8,9 | 25,4 | 47,5 | 81,8 | 0,52 | 1,65 |
| | 19,2 | 16,8 | 0,6 | 2,6 | 2,6 | 24,6 | 17,4 | 24,7 | 27,5 | 69,6 | 0,40 | 1,65 |
| Суглинистый | 19,1 | 9,5 | 0 | 0,8 | 11,2 | 57,1 | 6,7 | 8,2 | 16,0 | 30,9 | 0,52 | 1,43 |
| | 12,2 | 33,1 | 0,1 | 1,4 | 15,7 | 52,2 | 8,0 | 6,8 | 15,8 | 30,6 | 0,52 | 1,51 |
| Легкосуглинистый | 15,3 | 20,0 | 0 | 0,9 | 14,0 | 56,9 | 6,0 | 6,3 | 15,9 | 28,2 | 0,56 | 1,41 |
| | 17,1 | 8,6 | 0 | 1,3 | 6,9 | 64,5 | 5,4 | 8,1 | 13,8 | 27,3 | 0,51 | 1,55 |
| | 15,9 | 14,4 | 0 | 1,4 | 15,0 | 62,4 | 5,4 | 4,5 | 11,3 | 21,2 | 0,53 | 1,60 |
| | 12,2 | 35,0 | 1,0 | 1,5 | 15,6 | 60,0 | 6,0 | 6,1 | 9,8 | 21,9 | 0,45 | 1,49 |
| Супесчаный | 18,9 | 17,8 | 4,8 | 29,7 | 25,2 | 20,3 | 3,2 | 6,4 | 10,4 | 20,0 | 0,52 | 1,75 |
| Среднее | 16,1 | 18,0 | 0,8 | 4,5 | 12,2 | 45,7 | 7,4 | 10,7 | 18,7 | 36,8 | 0,51 | 1,56 |

лотнены и, как правило, более карбонатны. Зависимости между содержанием гипса и уплотненностью почв нет. Гипс менее устойчив, чем карбонаты, током восходящих вод он может растворяться и переноситься в виде сульфата кальция, выкристаллизовываясь в более молодых покровах в иной форме.

Различия в литологическом строении оказывают большое влияние на условия передвижения и накопления солей в профиле. В таблице 20 показано среднее содержание солей, извлеченных водной вытяжкой из образцов по почвенно-литологическим типам. Результаты статистической обработки показывают, что различия между комплексами существенны. Это согласуется с ранее полученными выводами (Егоров, Минашина, Мотузов, 1976).

I тип профиля характеризуется наиболее высоким засолением при повышенном содержании хлоридов. Определение типа современного соленакопления затрудняется высоким содержанием сульфата кальция из-за растворения гипса водной вытяжкой, поэтому из общего содержания $SO_4$ было вычтено содержание сульфат-иона, связанного с Ca ($HCO_3+SO_4—Ca=SO_4$-т). Разность дает содержание сульфата-(Na+Mg). По этим данным отношение $SO_4$-т/Cl почти по всем горизонтам меньше 0,8, а в грунтовых водах — 0,6, что свидетельствует о хлоридном типе засоления.

Для II типа содержание $SO_4$-т в 1,7—2 раза больше, чем количество хлоридов, т. е. засоление сульфатное при значительно меньшем общем содержании легкорастворимых солей (примерно в 1,5—2 раза, а по Cl в 3 раза меньше, чем для I типа).

III тип занимает промежуточное место по всем показателям, по содержанию солей верхний метр ближе к II, а 2, 3 и 4-й — к I почвенно-литологическому типу.

Соответственно для каждого из типов изменяются отношения Na/Cl. I тип, кроме того, выделяется из других значительно более высокой магнезиальностью. Эти признаки устойчивы и могут быть использованы при идентификации почвенно-литологических типов. Разделение этих почв по литологии имеет практическое значение, они по-разному ведут себя при мелиорациях: I тип солончака из-за плохих фильтрационных свойств не удается рассолить обычными методами; при электромелиорации поддается рассолению II почвенно-литоло-

Таблица 19. **Физические свойства, содержание гипса и карбонатов в гипсоносном солончаке**

| № разреза, почвенно-литологический тип | Глубина, см | Гигроскопическая влага, % при 65°С | Объемный вес, г/см³ | Удельный вес | Общая пористость, % | $CaCO_3+MgCO_3$ (% на сухую почву) | $CaSO_4\cdot 2H_2O$ (% на сухую почву) | $CaCO_3+MgCO_3$ (% на силикатную часть почвы) | $CaSO_4\cdot 2H_2O$ (% на силикатную часть почвы) | Механический состав (полевое определение) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21, I | 0—25 | 1,32 | 1,25 | 2,65 | 52,8 | 7,5 | 15,4 | 9,8 | 20,0 | Суглинок |
| | 25—64 | 1,49 | 1,29 | 2,62 | 50,8 | 12,7 | 10,2 | 16,5 | 13,2 | |
| | 64—80 | 1,19 | 1,43 | 2,44 | 41,4 | 7,8 | 39,7 | 14,9 | 75,6 | |
| | 80—102 | 0,60 | 1,65 | 2,56 | 35,5 | 11,3 | 15,9 | 15,5 | 21,3 | Слоистый суглинок |
| | 102—115 | 0,75 | 1,71 | 2,57 | 33,5 | 12,7 | 19,2 | 18,6 | 28,2 | Глина с песком |
| | 115—165 | 0,45 | 1,55 | 2,66 | 41,7 | 8,3 | 14,5 | 11,7 | 18,9 | Супесь |
| | 165—210 | 0,80 | 1,58 | 2,71 | 41,7 | 12,0 | 15,9 | 16,7 | 22,1 | Глина |
| 22, I | 0—32 | 1,62 | 1,13 | 2,68 | 57,8 | 7,6 | 14,4 | 9,7 | 18,5 | Суглинок |
| | 32—53 | 1,30 | 1,30 | 2,49 | 47,8 | 5,1 | 41,2 | 9,5 | 76,7 | |
| | 53—61 | 1,08 | 1,38 | 2,47 | 44,1 | 6,8 | 11,5 | 8,4 | 14,1 | |
| | 61—93 | 0,65 | 1,65 | 2,63 | 37,1 | 13,5 | 19,8 | 20,3 | 29,7 | |
| | 93—122 | 0,51 | 1,59 | 2,69 | 40,9 | 9,9 | 14,6 | 13,1 | 19,3 | Супесь |
| | 122—200 | 0,90 | 1,48 | 2,73 | 45,8 | 14,0 | 17,4 | 20,4 | 25,4 | Глина |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 43, III | 0—23 | 1,41 | 1,14 | 2,64 | 56,8 | 6,7 | 18,4 | 8,9 | 24,6 | Суглинок |
| | 23—50 | 1,08 | 1,41 | 2,53 | 44,3 | 5,6 | 35,4 | 9,5 | 60,0 | |
| | 50—67 | 1,00 | 1,33 | 2,47 | 46,2 | 5,9 | 42,8 | 11,5 | 83,4 | |
| | 67—83 | 0,68 | 1,48 | 2,60 | 43,1 | 12,3 | 14,1 | 16,7 | 19,2 | Супесь |
| | 83—120 | 1,00 | 1,56 | 2,62 | 40,5 | 15,6 | 16,7 | 23,1 | 24,7 | Суглинок |
| | 120—160 | 0,36 | 1,40 | 2,62 | 46,6 | 7,1 | 19,0 | 9,6 | 25,7 | Песок |
| | 160—220 | 0,68 | 1,55 | 2,68 | 42,2 | 14,0 | 12,1 | 19,0 | 16,4 | Тяжелый суглинок |
| 44, III | 0—30 | 1,50 | 1,16 | 2,54 | 54,3 | 6,7 | 18,9 | 9,0 | 25,4 | Суглинок |
| | 30—50 | 1,19 | 1,27 | 2,44 | 47,9 | 5,6 | 36,8 | 9,8 | 63,9 | |
| | 50—69 | 0,84 | 1,51 | 2,57 | 41,3 | 15,6 | 27,8 | 25,4 | 48,3 | |
| | 69—87 | 0,63 | 1,67 | 2,66 | 37,2 | 14,8 | 6,8 | 18,8 | 8,7 | |
| | 87—117 | 0,85 | 1,68 | 2,67 | 37,1 | 13,3 | 15,7 | 18,8 | 22,1 | Легкий суглинок |
| | 117—150 | 0,46 | 1,62 | 2,64 | 38,6 | 10,9 | 17,6 | 15,3 | 24,8 | Суглинок |
| | 150—200 | 0,42 | 1,46 | 2,73 | 46,5 | 10,3 | 7,1 | 12,5 | 8,6 | Супесь |

Таблица 20. **Средние данные анализа водных вытяжек из образцов гипсоносного солончака, мг·экв. на 100 г почвы**

| Почвенно-литологический тип | Глубина, см | Сумма солей, % | | $HCO_3$ | Cl | $SO_4$ | | Ca | Mg | $SO_4/Cl$ | Na | Na/Cl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | общая | токсичн. | | | общая | токсичн. | | | | | |
| I п-72 | 0—20 | 3,22 | 2,39 | 0,29 | 17,84 | 30,38 | 18,23 | 12,44 | 5,69 | 1,02 | 30,15 | 1,69 |
| | 20—50 | 3,33 | 2,47 | 0,24 | 20,72 | 28,79 | 16,15 | 12,88 | 6,36 | 0,78 | 30,74 | 1,48 |
| | 50—100 | 2,96 | 2,16 | 0,21 | 19,29 | 24,90 | 13,20 | 11,91 | 6,02 | 0,68 | 26,42 | 1,37 |
| | 100—150 | 2,94 | 2,00 | 0,20 | 18,09 | 23,52 | 12,05 | 11,67 | 5,05 | 0,67 | 25,02 | 1,38 |
| | 150—200 | 2,77 | 1,80 | 0,21 | 15,52 | 21,80 | 10,09 | 11,42 | 4,17 | 0,65 | 22,09 | 1,42 |
| | 200—250 | 2,51 | 1,58 | 0,20 | 13,43 | 20,59 | 10,62 | 10,10 | 3,45 | 0,79 | 20,24 | 1,51 |
| | 250—300 | 2,25 | 1,64 | 0,21 | 12,56 | 18,41 | 9,55 | 9,07 | 3,28 | 0,76 | 21,17 | 1,68 |
| | 300—350 | 2,24 | 1,35 | 0,21 | 11,018 | 17,94 | 9,23 | 8,92 | 3,09 | 0,84 | 17,24 | 1,56 |
| | 350—400 | 1,95 | 1,36 | 0,21 | 12,28 | 19,07 | 9,71 | 9,57 | 3,36 | 0,79 | 17,08 | 1,39 |
| II п-41 | 0—20 | 2,00 | 1,21 | 0,29 | 4,55 | 24,62 | 12,92 | 11,99 | 3,15 | 2,83 | 14,98 | 3,29 |
| | 20—50 | 2,22 | 1,03 | 0,25 | 6,45 | 25,89 | 14,32 | 11,82 | 3,94 | 2,22 | 17,51 | 2,71 |
| | 50—100 | 2,14 | 1,39 | 0,23 | 6,99 | 23,94 | 12,35 | 11,41 | 3,95 | 1,77 | 16,88 | 2,41 |
| | 100—150 | 1,87 | 1,18 | 0,20 | 6,19 | 20,84 | 10,68 | 10,36 | 3,39 | 1,72 | 14,28 | 2,31 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 150—200 | 1,83 | 1,17 | 0,20 | 6,20 | 20,29 | 10,46 | 10,03 | 3,26 | 1,69 | 14,26 | 2,30 |
| | 200—250 | 1,84 | 1,11 | 0,20 | 5,71 | 19,94 | 10,11 | 10,03 | 3,22 | 1,77 | 14,41 | 2,52 |
| | 250—300 | 1,64 | 1,04 | 0,21 | 5,41 | 18,52 | 9,73 | 9,00 | 3,21 | 1,80 | 12,46 | 2,30 |
| | 300—350 | 1,57 | 0,98 | 0,21 | 5,28 | 17,87 | 9,58 | 8,75 | 3,02 | 1,81 | 11,72 | 2,22 |
| | 350—400 | 1,61 | 1,00 | 0,21 | 5,67 | 18,12 | 9,14 | 9,19 | 3,06 | 1,61 | 11,95 | 2,11 |
| III п-4 | 0—20 | 2,02 | 1,48 | 0,28 | 5,85 | 23,96 | 12,11 | 12,13 | 2,72 | 2,07 | 15,53 | 2,65 |
| | 20—50 | 2,18 | 1,38 | 0,25 | 7,56 | 25,37 | 13,59 | 12,03 | 3,18 | 1,80 | 17,49 | 2,31 |
| | 50—100 | 2,18 | 1,41 | 0,22 | 8,86 | 23,52 | 13,73 | 11,57 | 3,22 | 1,54 | 17,89 | 2,01 |
| | 100—150 | 2,14 | 1,47 | 0,24 | 10,22 | 22,57 | 12,80 | 10,01 | 3,31 | 1,25 | 18,78 | 1,84 |
| | 150—200 | 2,04 | 1,40 | 0,21 | 9,82 | 20,73 | 11,35 | 9,59 | 3,13 | 1,16 | 17,87 | 1,82 |
| | 200—250 | 2,12 | 1,47 | 0,20 | 9,97 | 21,96 | 11,20 | 9,96 | 3,22 | 1,12 | 18,70 | 1,86 |
| | 250—300 | 2,02 | 1,39 | 0,21 | 9,91 | 20,38 | 11,11 | 9,47 | 2,92 | 1,12 | 17,91 | 1,81 |
| | 300—350 | 2,02 | 1,35 | 0,21 | 9,23 | 18,98 | 10,49 | 8,91 | 3,07 | 1,14 | 16,31 | 1,77 |
| | 350—400 | 1,97 | 1,35 | 0,21 | 9,33 | 19,98 | 10,87 | 9,32 | 2,88 | 1,16 | 17,35 | 1,86 |
| Грунтовые воды, м·экв/л | | г/л | | | | | | | | | | |
| I | | 56,7 | 54,57 | 3,84 | 514,5 | 344,5 | 316,8 | 32,5 | 158,1 | 0,62 | 659,6 | 1,28 |
| II | | 56,7 | 54,5 | 4,13 | 368,5 | 422,3 | 394,9 | 31,5 | 138,3 | 1,07 | 681,1 | 1,84 |
| III | | 64,9 | 67,9 | 4,24 | 486,5 | 513,3 | 487,1 | 30,9 | 164,6 | 1,0 | 853,3 | 1,75 |

гический тип, III рассоляется примерно на 1 м, а I не удалось опреснить даже при промывках в электрическом поле (Егоров, Минашина, Мотузов, 1976).

Резюмируя описание сазовых гипсоносных почв, можно отметить следующее: гипс в сазовых почвах накапливается из грунтовых вод в зоне их выклинивания в периферийных частях подгорных равнин, где аккумулируются наиболее тонкие частички пролювиально-делювиальных отложений. Эти отложения менее проницаемые и замедляют сток грунтовых вод. Накопление материнского материала и гипса происходит медленно, одновременно с развитием и загипсовыванием почвы. Эти почвы одновременно характеризуются высоким засолением — одной из причин трудного их освоения.

Для сазовых почв характерна гетерогенность почвенного профиля, связанная с изменением ритма осадконакопления. В пределах 2—3 м почвы можно видеть два яруса погребенных гумусовых горизонтов, которые соответствуют как более влажным, чем современные, почвам (лугово-болотным, болотным, озерным), так и более сухим. По количеству гипса обычно не обнаруживается связи с разновозрастными почвенными образованиями, но их формы сохраняют специфику в зависимости от водного режима, в котором формировалась почва.

Для сазовых почв характерны средне-, а часто и крупнокристаллические формы гипса. Наиболее крупные чечевицеобразные кристаллы, одиночные и в друзах, измеряемые сантиметрами, образуются на контакте зон полного грунтового и капиллярного насыщения. В песчаных горизонтах нередки призматические формы. В зоне капиллярного насыщения размеры кристаллов уменьшаются до нескольких миллиметров, а в зоне периодического капиллярного увлажнения и иссушения размеры кристаллов еще меньше — десятые и даже сотые доли миллиметра. Они часто образуют округлые скопления по ходам корней и камерам почвенной фауны. Кристаллы их нередко удлиненные прорастают друг в друга, образуя плотный клубок, сцементированы. Таким образом, в пределах одного профиля можно видеть крупно-, средне- и мелкокристаллические формы гипса, но преобладают обычно среднезернистые, поэтому эти почвы чаще всего относятся к среднезернистым гипсоносным, но встречаются крупнокристаллические и мучнистые формы гипса.

Накопление гипса из грунтовых вод чаще всего приводит к уплотнению почвы, так как гипс, выкристаллизовываясь, заполняет часть свободного пространства, сдвигает и уплотняет почвенные частицы. Но и при этом между растущими крупными кристаллами могут появляться новые крупные пустоты. Только в верхних горизонтах при подходе верхней части капиллярной каймы к поверхности при росте кристаллов происходит разрыхление почвы из-за ее вспучивания и выталкивания частиц растущими кристаллами вверх. При этом растущие кристаллы часто имеют игольчатую форму, образующую как бы войлок, который, однако, со временем уплотняется, и гипс перекристаллизовывается в более устойчивые формы. Но все же плотность в этом горизонте меньше, чем в более насыщенных растворами нижних слоях почвы. Такие горизонты обнаруживаются и в погребенном состоянии как свидетели того, что почва наращивается сверху за счет вновь поступающих частиц.

Обсыхание гипсоносных почв, формирующихся в современных сазовых условиях Голодной степи, сопровождается образованием более рыхлых гипсоносных горизонтов. Здесь профиль почв проявляет отчетливую гетерогенность и повышенную уплотненность в нижней, а иногда и средней части профиля почв, сформировавшихся при более влажных, чем современные, условиях; верхняя часть современного профиля более порозная и рыхлая. Нижние горизонты еще более уплотнились в результате накопления кристаллов гипса, занявших часть свободных пор. Этому же способствовало и накопление вторичных карбонатов, количество которых составляет 2—5% объема почвы при 4—6% первичных карбонатов, поступивших с твердым стоком.

Нижние горизонты почвы характеризуются и большей оглиненностью силикатной части почвы по сравнению с более поздними осадками, образовавшими верхнюю часть профиля. Если в последней отношение ила (частиц менее 0,001 мм) к сумме частиц размером менее 0,01 мм составляет в верхних горизонтах менее 35%, то в погребенных горизонтах почв, ныне составляющих нижнюю часть профиля, это отношение более 50%.

Верхние эолово-делювиальные горизонты состоят из пылеватых частиц с небольшим содержанием ила и от-

носятся к легким и средним суглинкам. В результате накопления гипса они стали песчанисто-пылеватыми и приобрели большую пестроту в гранулометрическом составе. Сумма объемов свободных пор и гипса составляет 55—63% объема почвы. Вторичного кальцита в этих горизонтах очень немного, состав первичных минералов менее изменен, они слабовыветрелые.

В агропроизводственном отношении сазовые гипсоносные почвы не отличаются высокими качествами, к тому же их очень трудно рассолить. По условиям рельефа они очень удобны для орошения, почти не нуждаются в больших планировочных работах. Освоение новых массивов на подгорных равнинах начиналось с этих почв, два-три года удавалось собирать удовлетворительные урожаи на наименее засоленных и гипсоносных почвах. Но вскоре они еще более засолялись, переувлажнялись, вновь их можно было начинать осваивать только после коренных мелиораций — сооружения искусственного дренажа и капитальных промывок. Но и на рассоленных почвах урожаи пониженные. Эти почвы остаются малоудовлетворительными по физическим свойствам. Предпринимались различные попытки по разрыхлению гипсоносного горизонта, но приемлемых методов регулирования их физических и водно-физических свойств пока не найдено. Надо заметить, что в этом направлении мало работали, основные усилия были направлены на рассоление почв.

Среди гипсоносных почв имеются менее гипсоносные в корнеобитаемом слое, они должны осваиваться раньше других; почвы более гипсоносные должны отводиться под посевы люцерны и другие гипсофильные культуры.

### Мелиоративные особенности гипсоносных почв

В прошлом гипсоносные почвы мало использовали под орошение. Они приурочены в основном к территориям со сложным рельефом, подача воды на которые затруднена, или характеризуются высоким засолением, затрудняющим их освоение. С развитием техники водозабора, машинной подачи воды, индустриализацией строительства появилась возможность орошения и таких почв. Гипсоносные почвы все чаще попадают в пределы крупных массивов нового освоения. В первое время у проектировщиков это не вызывало особой тревоги, так как

гипсоносные почвы в изыскательских материалах особо не выделялись.

К классификации и мелиоративной оценке гипсоносных почв подходили с критериями, выработанными для обычных негипсоносных, и проектировали те же мелиорации. Но вскоре после осуществления проектов обнаруживалась их недостаточность или непригодность. Проекты, разработанные без учета особенностей гипсоносных почв, приходится пересматривать. Так было, например, с проектами орошения в зоне Южноголодностепского канала, в Каршинской степи и на высоких террасах р. Евфрат в Ираке. Необходимы новые подходы в мелиоративной оценке и классификации гипсоносных почв с обязательным выделением гипсоносных почв на картах на высших таксономических уровнях, которые являются основным документом для размещения мелиоративных систем.

В оценке мелиоративных особенностей и плодородия гипсоносных почв имеются разные аспекты. Это прежде всего отношение культурных растений к гипсу и второе — влияние гипса на мелиоративные качества почв.

Вопрос непосредственного влияния гипса на растения изучен мало. Имеются основания предполагать, что гипс небезразличен для растений, несмотря на малую его растворимость (1,5—3 г/л в почвенном растворе) и невысокую токсичность соединений кальция. Подтверждением этому служит особый видовой состав растений — гипсофилов на целинных почвах.

Из культурных растений в оазисных условиях пустынь Африки на гипсоносных почвах часто можно видеть финиковую пальму (Альфен, Ромеро, 1971). У нас в Закавказье, в Испании на гажевых почвах растут и дают удовлетворительные, а иногда и высокие урожаи виноград, абрикосы и другие косточковые при условии, что почва не засолена и хорошо дренирована. Из травянистых культур на гипсоносных почвах хорошо растет люцерна, кукуруза, удовлетворительно — пшеница, сорго. Все случаи положительного опыта возделывания сельскохозяйственных культур получены на незасоленных микро- и мелкозернистых гипсоносных почвах при залегании верхней границы гажевого горизонта обычно глубже 30 см. Известны случаи выращивания люцерны, пшеницы, кукурузы и сорго на поверхностно-гипсоносных почвах. При микрозернистой форме гипса и содер-

жании его более 25% получали несколько пониженные урожаи, а при содержании гипса более 50% растения выглядят угнетенными, с утолщенными узлами и ломким укороченным стеблем, урожаи получают очень низкие.

Имеется опыт (Почвенный институт им. В. В. Докучаева) выращивания риса на мелко- и среднезернистых поверхностно-гипсоносных почвах (сазовых луговых сильнозасоленных и луговых гипсоносных солончаках). Посевы риса совмещались с промывками. Удовлетворительного результата получено не было. Посевы изреживались, растения были низкорослыми, и даже в опытных условиях урожай был низким (20—25 ц/га по сравнению с 50 ц/га неочищенного зерна на негипсоносных почвах).

Хлопчатник не относится к гипсофилам, поскольку лучшие для него черные хлопковые почвы Индии и тяжелые по механическому составу малокарбонатные безгипсовые почвы долины и дельты Нила. Незасоленные орошаемые почвы на лессах и лессовидных отложениях в Средней Азии дают тоже хорошие урожаи хлопчатника, но при пониженном (по сравнению с черными хлопковыми землями) качестве волокна. Урожаи хлопчатника на гипсоносных почвах всегда ниже, чем на почвах, не содержащих гипс. Даже лучшие по свойствам гажевые почвы с мощностью надгипсового слоя менее 40 см оказываются малоудовлетворительными для хлопчатника, поэтому его размещают на глубокогипсоносных почвах, если планируют получить высокий урожай.

В зоне Южноголодностепского канала, где широко распространены сазовые средне- и крупнозернистые гипсоносные почвы, за 12 лет освоения не удалось поднять урожай хлопчатника более 12 ц/га даже на промытых почвах, в то время как на негипсоносных почвах того же района собирают урожаи хлопка-сырца по 25—30 ц/га.

При использовании гипсоносных почв под хлопчатник, требующий интенсивного орошения, известны случаи появления токсических веществ в растворе ($H_2S$) и повышения щелочности.

Причины отрицательного влияния гипса на хлопчатник и другие культуры могут быть разными. Гипс, как среднерастворимый минерал, при содержании в растворе незасоленной почвы в количестве 1,5—2,5 г/л сульфата кальция не способен сильно повышать осмотическое давление и нарушать водоснабжение растений, как

это происходит при содержании в растворе высоких концентраций легкорастворимых солей. Но это не исключает других аспектов его влияния, которые проявляются в нарушении питательного режима растений, а также физических и водно-физических свойств почв. Малое плодородие гипсоносных почв подтверждалось вегетационным и полевым опытом. Внесение навоза, компоста в гипсоносные почвы значительно повышало урожай культур.

Гипс не содержит питательных элементов, тем не менее воздействует на питательный режим, связывая фосфат-ион в трехкальциевый фосфат, фосфор которого недоступен для растений. Высокое содержание кальция способствует уменьшению отношения Mg/Ca, K/Ca, что нарушает сбалансированность питательных элементов. Гипсоносные, как и другие почвы аридной зоны, бедны азотом. Таким образом, гипсоносные почвы нуждаются в основных питательных элементах — NPK и хорошо отзываются на азотные, фосфорные (особенно в органической форме) и даже калийные удобрения. Удобрения в эти почвы вносят в бóльших дозах, чем в негипсоносные почвы.

При интенсивном поливе у плодовых отмечались случаи хлороза, поэтому для борьбы с хлорозом применяют растворы хелатов железа и цинка.

Гипсоносные почвы очень хорошо отзываются на органические и землистые удобрения, различные органоминеральные компосты, внесение которых ранее очень широко практиковалось в Закавказье при закладке виноградников и периодически повторялось в процессе их эксплуатации. На удобренных таким образом гипсоносных почвах собирали до 200 ц/га винограда, на неудобренных — около 16 ц/га.

Гипс оказывает большое влияние на водно-физические свойства почв. Он, как и песок, мало гигроскопичен, и гипсоносный горизонт характеризуется малыми коэффициентами завядания; при микрозернистых формах гипса этот горизонт обладает удовлетворительной водоудерживающей капиллярной способностью. Общие запасы влаги в таких почвах (гажевых) несколько ниже, чем в негипсоносных суглинистых, но запасы доступной для растений влаги такие же или даже несколько выше. Почвы, содержащие крупнозернистые формы гипса, удовлетворительными свойствами не обладают: при

большом содержании гипса их водно-физические свойства неудовлетворительны, как и гравийно-песчаных почв.

Наибольшее влияние гипс оказывает на физические свойства почв. От других частиц почвы гипс отличается физической динамичностью во времени из-за способности растворяться и перекристаллизовываться и изменяет гранулометрический состав и строение почвы. Динамичность форм, а иногда и содержания гипса оказывает влияние на свойства всех почвенных горизонтов, а также подстилающих пород и условия почвообразования. При выщелачивании гипса изменяется микрорельеф, появляются просадочные блюдца, суффозионные воронки, а в местах вторичного загипсовывания происходит забивание пор, уплотнение почв и вспучивание поверхности. Поэтому гипсоносные почвы при орошении нуждаются в более частых планировках поверхности.

При образовании ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) сульфат кальция, переходя из раствора в твердую фазу, захватывает (а при растворении освобождает) воду в количестве 21% от веса кристаллов. При нагревании в токе сухого воздуха (выше 70°С, а также при сильном механическом давлении гипс теряет 1,5 молекулы воды и превращается в полугидрат ($CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$). При этом сильно изменяется объем и другие физические свойства вмещающей его почвы. Поэтому наличие гипсоносных горизонтов всегда затрудняет мелиоративное строительство и освоение земель под орошение. Гипсоносные грунты, деформируясь, создают опасность разрыва труб и бетонных облицовок, а также оседания опор. Гипс, выкристаллизовываясь в порах, разрушает строительные материалы и т. д.

Меньше проблем возникает при использовании гипсоносных почв под богарное земледелие, но и при этом элювиально-аккумулятивные гипсоносные почвы часто эрозионноопасны.

Все территории с гипсоносными почвами отличаются большой пестротой почвенного покрова. В связи с этим при выполнении изыскательских работ особое внимание необходимо обращать на выявление закономерностей распространения различных компонентов гипсоносных почв, различающихся по формам гипса, глубине залегания и мощности гипсоносного горизонта, содержанию гипса. Эти сведения необходимы при разработке проектов орошения таких почв.

В связи со способностью гипса растворяться, выщелачиваться и перекристаллизовываться необходимо не только изучать закономерности предырригационного почвенного покрова, но и прогнозировать влияние орошения на почвенный покров после освоения и в процессе длительной эксплуатации. Изменение водно-термического режима орошаемых почв вызывает изменение форм гипсовых аккумуляций. Повышение увлажнения ведет к укрупнению кристаллов гипса, снижению проницаемости почв и забиванию пор. Осушение почв и режим периодического иссушения и умеренного увлажнения почв, напротив, влечет за собой перекристаллизацию гипса с уменьшением размеров кристаллов, а в верхних горизонтах разрыхление почвенных частиц и частичное выщелачивание. По этой причине гипсоносные почвы больше пригодны под культуры, требующие менее интенсивного орошения и сильнее иссушающие почву (люцерну, пшеницу, кукурузу, виноград), и меньше пригодны под интенсивно орошаемые культуры, требующие более равномерного высокого увлажнения,— хлопчатник, рис.

При наличии гипса в элювиально-аккумулятивных почвах на повышенных территориях ирригационная сеть в земляных руслах противопоказана из-за возможности больших потерь оросительной воды и суффозионных явлений. Сеть должна сооружаться только в противофильтрационных одеждах, как это, в частности, показал опыт эксплуатации Северо-Крымского канала.

Выщелачивание и перекристаллизация гипса не только изменяют микрорельеф поверхности, но и влияют на фильтрационные свойства почв, увеличивая проницаемость в горизонтах выщелачивания и снижая в горизонтах новой кристаллизации. Сульфат кальция, захватывая воду, при кристаллизации сильно уплотняет почву, разрушает ее исходную структуру, может зацементировать или, наоборот, разрыхлить горизонт в зависимости от условий роста кристаллов.

Во всех гипсоносных почвах по ходам корней образуются карбонатно-гипсовые или гипсовые трубочки, которые изолируют корень от силикатной части почвы, содержащей основные запасы питательных веществ и воды. С отмиранием корней трубочки остаются, корни растений прокладывают новые ходы, в результате образуются новые трубочки, и так до тех пор, пока позво-

ляют физические свойства почвы. При сильном уплотнении новые корни направляются в старые ходы — трубочки и оказываются изолированными и значительно хуже снабжаются влагой и питательными веществами. В уплотненных почвах новым растущим корням трудно проделывать ходы, и корни начинают стелиться по гипсоносному горизонту, не проникая вглубь. Ходы корней, вначале инкрустированные по стенкам кристаллами гипса, со временем заполняются полностью его кристаллами, образуя гипсовые стержни и другие скопления в виде червячков, жилок и пр. Особенно сильно это выражено в солончаково-аккумулятивных гипсоносных почвах, где, кроме перераспределения старых запасов, приносятся все новые соли с грунтовыми водами.

В солончаковых аккумулятивных почвах наличие гипса сильно затрудняет условия промывок из-за плохой проницаемости и захватывания части токсичных солей в кристаллы гипса, которые по мере перекристаллизации освобождаются.

Гипсоносные почвы обладают пониженным, но неоднордным плодородием, что зависит от форм гипса, глубины его залегания и количества, а также гидрогеолого-литологических условий территории. В дальнейшем, возможно, удастся разработать приемы управления процессами перекристаллизации гипса. Путем регулирования водно-термического режима можно будет придавать гипсоносным почвам более благоприятные водно-физические и физические свойства. Пока такие приемы практически не разработаны, для орошения надо отбирать наиболее пригодные почвы и возделывать на них гипсофильные культуры, применяя соответствующие режимы удобрений, орошений и обработки почв.

Гипсоносные почвы обладают и некоторыми положительными качествами. Для их орошения можно использовать повышенно-щелочные воды. Гипс нейтрализует соду и снижает величину pH до 7—7,5. Но при систематическом применении щелочных вод кристаллы гипса могут покрываться кальцитовой пленкой и оказаться изолированными от почвенных растворов, т. е. потерять свое нейтрализующее действие на соду и регулирующее значение для реакции среды. Эти пленки можно периодически разрушать кислованием.

Следует отметить еще одну возможность использования гипсоносных почв как полезного ископаемого, ко-

торое применяют для промышленных целей (для изготовления строительных вяжущих материалов) и как мелиорирующего вещества для улучшения свойств высокодисперсных глинистых, слитых и солонцовых почв. Для той и другой цели на практике наиболее широко разрабатываются гажевые незасоленные почвы с высокой концентрацией гипса. И для этой цели при картировании следует указывать глубину и мощность гипсоносного горизонта, а также содержание гипса, т. е. показатели, которые принимаются в расчет при оценке гипсоносных почв для разработки гипса в качестве полезного ископаемого.

Изложенное выше, а также материалы, обосновывающие необходимость применения особых методов анализа гипсоносных почв, свидетельствует о том, что необходимо выделять и особо классифицировать гипсоносные почвы.

## Классификация гипсоносных почв *

При картографических работах с использованием ныне принятой классификации гипсоносные почвы выделяются на уровне рода, гипсоносный горизонт рассматривается как материнская порода. В этой классификации выделены роды остаточно-гипсовые бурые полупустынные и серо-бурые, подстилаемые гипсом. Других гипсоносных почв не указано, но предлагается классифицировать почвы на уровне рода по глубине залегания гипсовой породы на: а) гипсоносные — гипс глубже 50 см; б) высокогипсоносные — гипс в слое 10—50 см; в) корково-гипсовые — гипс в слое 0—10 см. При этом не указано, при каком содержании гипса почвы следует относить к роду гипсоносных.

Кубиена (Kubiena, 1953) один из первых дал микроморфологическое описание некоторых гипсоносных почв, классифицировал их на уровне подгрупп больших групп, таких, как сероземы, рендзины, пустынные почвы, солончаки.

Буринг (Buringh, 1960) выделял в Ираке гипсоносные сероземы, гипсоносные красновато-коричневые, гипсоносные регозоли, аллювиальные гипсоносные.

---

* Классификация разработана автором книги и В. В. Егоровым.

В приложениях к 7-му приближению американские почвоведы предлагали выделить гипсоносные почвы на уровне семейства, а в последующем подняли их на уровень больших групп, что соответствует нашим типам (8-е приближение, 1973).

Альфен и Риос Ромеро (Alphen, Romero, 1971), рассмотрев существующие классификации зарубежных авторов, делают вывод, что они не дают возможности оценивать гипсоносные почвы адекватно их агропроизводственным свойствам, так как в них не учитываются такие важные показатели, как содержание гипса, глубина залегания гипсоносного горизонта, а самое главное, его консистенция (в нашей терминологии — форма).

Для классификации гипсоносных почв требуется система таксонов, которая позволила бы всесторонне отразить их специфические качества.

Аналогичные трудности возникают при классификации почв с повышенно-карбонатным горизонтом, известных в народе под названием шоховых, и с различными хардпенами (железистым, силикатным, глинистослитым и др.), которые распространены в зонах южных субтропиков и тропиков.

По принятым в классификации почв принципам особая направленность процесса почвообразования, приводящая к появлению или исчезновению в профиле одного из генетических горизонтов, дает основание для выделения типа. Следуя этим принципам, почвы с оформившимся гипсоносным горизонтом можно выделять на уровне типа. Например, серо-коричневые гажевые почвы отличаются от зональных серо-коричневых отсутствием уплотненного и оглиненного гор. В, который замещен гажевым (гипсоносным микрозернистым) горизонтом. В гипсоносных сероземах исчезает разрыхленный (дырчатый), тоже несколько более оглиненный гор. В и его место занимает горизонт из мелкозернистого гипса в смеси с другими алюмосиликатными и карбонатными минералами, иногда рыхлый, а иногда уплотненный. Но дело, конечно, не только в появлении или исчезновении одного горизонта, при этом изменяется совокупность признаков всего профиля, влияющих на характер обмена почвы с подстилающими слоями и атмосферой и на условия местообитания культурных растений или естественных ценозов. К гипсоносным относятся почвы с содержанием гипса более 10%.

Гидроморфные почвы формируются на уплотненных и консолидированных водных отложениях (чаще делювиально-пролювиальных или других) с невысокой порозностью (около 45%); накопление гипса в количестве 10% и более от веса почвы значительно изменяет физические, водно-физические и другие свойства этих почв. Порозность может снижаться до 35—40%, при этом затрудняется фильтрация почвенных растворов и замедляется подача их по капиллярам, ухудшается аэрация, обмен почвы с грунтовыми водами и атмосферой, что, как правило, сопровождается появлением оглеенного горизонта в нижней части почвенного профиля, накоплением солей, снижением биологической активности и уменьшением гумуса в верхнем горизонте. При очень близких к поверхности грунтовых водах гипс может накапливаться в верхнем горизонте почвы, при этом происходит раздвигание частиц и разрыхление почвы растущими кристаллами. Наличие коркового горизонта на поверхности таких почв обычно сопутствует образованию гипсоносного горизонта на контакте с грунтовыми водами. Гидроморфные гипсоносные почвы обычно имеют мощный гипсоносный горизонт; в них часто загипсован весь профиль с разным количеством и формами гипса по глубине, что зависит от режима грунтовых вод.

В автоморфных почвах гипсоносный горизонт обычно образуется в средней и нижней частях почвенного профиля, имеет специфичные формы гипса в зависимости от условий почвообразования. Верхняя граница гипсоносного горизонта проявляет строгую зависимость от микрорельефа поверхности, а мощность часто связана и с элементами мезорельефа, которые определяют распределение атмосферных осадков, направление передвижения почвенных растворов. Покров гипсоносных почв всегда комплексный. Наиболее полно изучены серо-коричневые гажевые почвы, гипсоносные сероземы и серо-бурые гипсоносные почвы, сазовые гипсоносные солончаки.

От гипсоносных почв следует отличать неразвитые почвы на гипсоносных породах, которые обычно приурочены к территориям с нестабильной поверхностью, где снос (ветром или водой) рыхлых продуктов выветривания опережает почвообразовательные процессы. Такие почвы можно видеть на землях с рельефом типа «бэдленд» на морских мягких осадочных породах. Примитив-

ные (неразвитые) почвы не имеют развитого гумусового горизонта, в нем прослеживаются фрагменты неизменной, почти неоструктуренной материнской породы. Гипсоносные прослои тоже сохраняют свой породный облик, не измененный почвообразованием. Эти почвы здесь не рассматриваются.

Согласно принципам существующей классификации гипсоносные почвы могут быть объединены в особый подкласс.

Подкласс гипсоносных почв разделяется на две группы: 1) аккумулятивные и 2) элювиально-аккумулятивные гипсоносные почвы, различающиеся современной направленностью процессов почвообразования.

1. Аккумулятивные гипсоносные почвы приурочены к областям современного накопления мелкозема и водорастворимых солей. Эти почвы формируются на современных аккумулятивных аллювиальных равнинах и нижних частях подгорных равнин. К аккумулятивным относятся сазовые гипсоносные солончаки, сазовые гипсоносные луговые, болотные, сероземно-луговые почвы, гипсоносные песчаные (типа репетекских), вторичные гипсоносные солончаки в оазисах.

Эти очень специфичные почвы отделяются от других рядом особенностей почвообразования, имеют погребенные гумусовые горизонты в средней или нижней частях почвенного профиля, которые со временем тоже загипсовываются. На аккумулятивных гипсоносных почвах можно не опасаться широкого развития суффозионных процессов. Главной проблемой является улучшение физических, фильтрационных и агрохимических свойств почв, а также борьба с засолением. Такие почвы всегда плохо естественно дренированы.

2. Элювиально-аккумулятивные почвы областей современной денудации занимают вторично приподнятые поверхности. Эти почвы распространены более широко, чем аккумулятивные, более разнообразны по генезису и формам гипсовых аккумуляций. В одну группу их объединяет то, что в современных условиях они развиваются на приподнятых поверхностях при наличии низких базисов эрозии, что стимулирует вынос и снос частиц под влиянием сил гравитации.

К элювиально-аккумулятивным относятся серо-коричневые гажевые почвы, гипсоносные сероземы, гипсоносные серо-бурые, гипсоносные бурые полупустынные. Эти

почвы развиваются при глубоком залегании грунтовых вод, их поверхностный горизонт сильно иссушается, дезагрегируется, что благоприятствует эрозии и дефляции. Поверхность таких почв всегда более сложная по микрольефу и рельефу; она тем больше расчленена, чем древнее. В условиях орошения они также эрозионно- и суффозионноопасны, подвержены деформациям (рис. 7).

Выделение групп и типов гипсоносных почв не решает всех классификационных вопросов. При дальнейшем их подразделении на более низком уровне необходимо учитывать количество гипса, глубину залегания и мощность гипсоносного горизонта, а также форму гипсовых выделений. По количеству гипса в гипсоносном горизонте выделяются слабо- (10—24%), средне- (25—50%) и сильногипсоносные (более 50%) почвы. Большинство аккумулятивных гипсоносных почв в стадии современного накопления (гипсоносные солончаки, сазовые гипсоносные луговые, болотные и др.) попадают в число слабогипсоносных и в меньшей мере среднегипсоносных. То же самое касается сероземно-луговых гипсоносных и сероземов гипсоносных, в большинстве своем недавно переживших стадию активной аккумуляции гипса. Серо-коричневые гажевые и серо-бурые гипсоносные относятся преимущественно к среднегипсоносным и в меньшей мере к сильногипсоносным почвам.

Количество гипса в корнеобитаемом слое вместе с его формой накопления часто оказывается решающим фактором в определении пригодности почв под сельскохозяйственные и особенно орошаемые культуры. Слабогипсоносные почвы пригодны с небольшими ограничениями. Среднегипсоносные почвы пригодны в основном для гипсофильных культур при особых режимах орошения (небольшие поливные нормы и частые поливы). Под более требовательные культуры они не пригодны, если мощность надгипсового горизонта меньше 30 см, а при наличии крупнокристаллических форм и шестоватом гипсе — меньше 60 см. Сильногипсоносные почвы при малой мощности надгипсового горизонта под интенсивно орошаемые культуры, как правило, не пригодны.

Таксономический уровень дальнейших подразделений сейчас трудно установить, поэтому мы их выделяем условно под названием разрядов, порядков и форм, пока они не найдут свое место в иерархической системе современных классификаций. Однако дело не в этом, а в

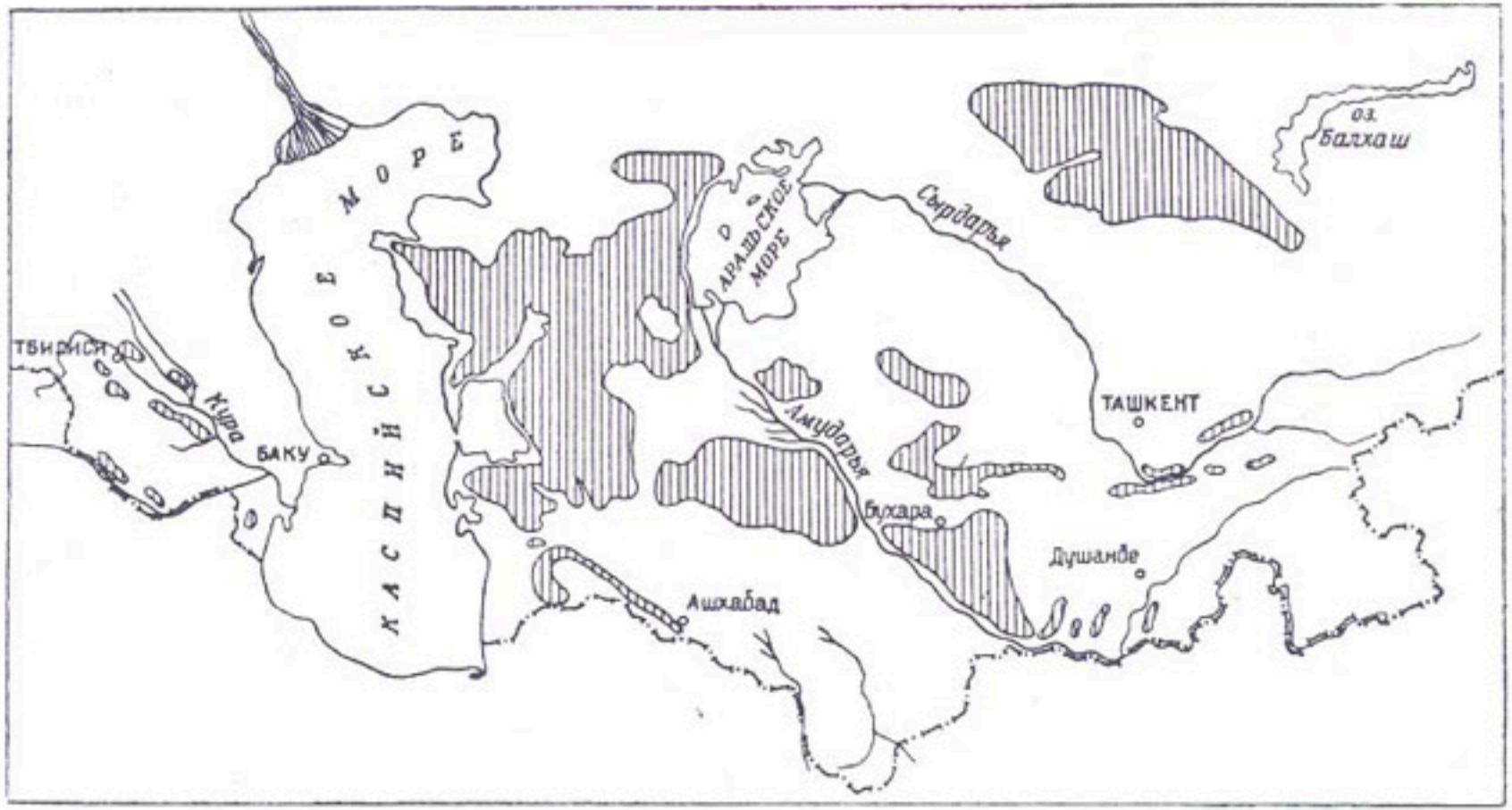


Рис. 7. Схема районов распространения гипсоносных элювиально-аккумулятивных почв пустынь и полупустынь (составлена автором под руководством В. А. Ковды).

существе их отображения на почвенно-мелиоративных картах, что очень важно для практических целей.

Разряды гипсоносных почв предлагается выделять с учетом глубины залегания верхней границы гипсоносного горизонта, т. е. мощности надгипсового слоя.

А — поверхностно-гипсоносные, гипс обнаруживается на глубине менее 30 см, т. е. в пределах пахотного слоя. Пригодность почв будет определяться содержанием и формой гипса: слабогипсоносные почвы со всеми формами гипса в этом разряде пригодны для орошения, а среднегипсоносные — только с мучнистой формой гипса, пригодность сильногипсоносных почв ограниченна.

Б — гипсоносные, верхняя граница гипсоносного горизонта на глубине 30—60 см. Слабогипсоносные почвы этого разряда пригодны под все культуры, среднегипсоносные — при мучнистой и мелкозернистой формах гипса; пригодны для орошения и сильногипсоносные почвы, но только при мучнистой форме гипса и под определенные культуры.

В — глубокогипсоносные почвы, верхняя граница гипсового горизонта на глубине 60—100 см, пригодны под все культуры, но требуют особых режимов орошения в зависимости от форм гипса и мощности гипсоносного горизонта (частые поливы небольшими нормами).

Г — очень глубоко гипсоносные почвы, верхняя граница гипсоносного горизонта глубже 100 см. Почвы пригодны под все культуры при обычных для данного механического состава режимах орошения, но возможны деформации поверхности при выщелачивании гипса и затруднения с промывками, если почвы засолены.

Порядки гипсоносных почв выделены с учетом мощности гипсоносного горизонта, которая принимается в расчет при прогнозировании потребности в эксплуатационных планировках, а также при оценке опасности деформаций поверхности под гидротехническими сооружениями. Потребность в эксплуатационных планировках с повышением естественной дренированности и увеличением мощности гипсоносного горизонта вырастает, то же относится и к опасности проявления суффозионных явлений. По мощности гипсоносного слоя предлагается выделить три градации: 1) маломощные — гипсо-

носный горизонт менее 40 см; 2) среднемощные — 40—100 см; 3) мощные — более 100 см.

На маломощных почвах могут быть незначительные деформации, легко преодолеваемые текущими планировками. На мощных они больше и должны приниматься заранее предусмотренные меры по предупреждению выщелачивания гипса при устойчивом глубоком уровне грунтовых вод, при высоком уровне необходимы дополнительные меры по обеспечению усиления эффективности искусственного дренажа.

Формы гипсоносных почв следует выделять по строению и свойствам гипсоносного горизонта, которые определяются главным образом размерами и формой кристаллов гипса. При близком к поверхности залегании гипсоносного горизонта форма гипса часто является решающим показателем в определении пригодности почв под орошаемую культуру, так как она определяет водно-физические свойства почв. Почвы с одним и тем же количеством гипса при одинаковом его залегании в профиле могут быть пригодными и непригодными под орошение в зависимости от водно-физических свойств. Более благоприятными свойствами обладают почвы с микро- и мелкозернистым гипсом рыхлого сложения, неблагоприятными — почвы с крупнокристаллическим гипсом и все плотные со сцементированным гипсоносным горизонтом.

Выделены следующие формы гипсоносных почв.

1. Гажевые (микрозернистые, мучнистые, пудровидные, рыхлые) с кристаллами гипса меньше 0,1 мм.

2. Мелкозернистые гипсоносные рыхлые, кристаллы 0,1—1 мм.

3. Мелкозернистые плотные (сцементированные), кристаллы гипса меньше 1 мм.

4. Среднезернистые гипсоносные рыхлые, кристаллы от 1 до 10 мм.

5. Среднекристаллические плотные (сцементированные), кристаллы от 1 до 10 мм.

6. Крупнокристаллические гипсоносные рыхлые, кристаллы более 1 см, но обычно волокнистой формы (шестоватые).

7. Крупнокристаллические, плотные, кристаллы более 1 см, обычно сцементированные, гипс типа репетекских и арзыка.

8. Скальные гипсы — это чаще геологические образования.

В одном профиле могут быть горизонты с разными формами гипса, и в одном горизонте могут быть скопления гипса разного размера кристаллов. При этом определение почв дается по кристаллам, составляющим не менее 70% общей массы гипса горизонта наибольшей мощности в данном профиле.

## СОЛОНЧАКИ

Солончаки характеризуются большим разнообразием морфологического строения почвенного профиля, поэтому морфология не является определяющим признаком их выделения. Они почти всегда слоисты, механический состав их резко изменяется в горизонтальном и вертикальном разрезах. Солончаки выделяют по двум основным признакам: первый — максимум солей в верхнем горизонте, второй — количество солей больше 1,5—2% от массы сухой почвы (по плотному остатку).

Солончакам посвящено много исследований, имеются и обобщающие работы (Ковда, 1937; Розанов, 1946; Грабовская, 1961, и др.). Материал, характеризующий солончаки, в основном содержит характеристику состава водных вытяжек и меньше — состава почвенных растворов.

С объяснением генезиса солончаков не возникало особых затруднений. Все они рассматривались как гидроморфные образования, где соли накапливаются из грунтовых вод при их испарении. Там, где грунтовые воды залегают глубоко и не принимают участия в современном соленакоплении, солончаки рассматривались как реликты прежних солончаковых условий и выделялись как остаточные.

Разделение солончаков в основном производилось по составу солей, выделялись хлоридные, сульфатные, содовые, нитратные и промежуточные типы химизма. Однако это не исчерпывало всех особенностей их генезиса и распространения. И до настоящего времени, несмотря на обилие материала, рассеянного во множестве источников, мы не можем дать исчерпывающей обобщенной характеристики всех солончаков, встречающихся в природных и орошаемых условиях. Такое обобщение назрело, и потребность практики в этом значительна. Ниже

предложенное описание не претендует на исчерпывающую завершенность.

Наша цель — показать главнейшие особенности распространения, состава, генезиса и мелиоративных свойств солончаков, которые ныне являются объектом, а при неправильном развитии освоения и продуктом (следствием) орошения.

Солончаки в большинстве своем приурочены к современным или древним понижениям с обще- или локальнонапорными грунтовыми водами в настоящем или прошлом. Грунтовые воды слабоотточны или безотточны, при основной статье расхода — испарении они выносят соли и оставляют их в почвах. Соли легко мигрируют по вертикали и медленно по горизонтали. При высокой подвижности солей стабильность распространения солевых очагов в пространстве и до настоящего времени не имеет удовлетворительного объяснения с позиций актуальных процессов. При промывках на небольших участках соли легко уходят с промывными водами и в то же время при мелиорациях по крупным массивам солончаки долго сохраняют свою устойчивость.

Основные запасы солей даже при промывках и наличии искусственного дренажа уменьшаются очень медленно — по нескольку тонн с гектара в год при наличии сотен тонн в зоне активного обмена. Одни солончаки удается искусственно рассолить, не опасаясь реставрации засоления, другие в устойчивый сельхозоборот практически ввести не удается, даже при применении сложных мелиораций и сооружений специальных гидротехнических устройств (в предыдущем разделе описан один из типов таких солончаков — гипсоносные). В практической мелиорации необходимо знать, с каким солончаком приходится иметь дело и какова вероятность успеха применения мер по рассолению.

В литературе принято разделять солончаки на первичные и вторичные, понимая под первичными солончаковые аккумуляции, образовавшиеся под влиянием естественных причин вне влияния человека, главным образом вне воздействия его ирригационной деятельности. Вторичные солончаки образуются под влиянием деятельности человека (орошения, строительства водохранилищ, плотин, поверхностного осушения и др.). Первичные солончаки, образовавшиеся на равнинах и понижениях разного происхождения, имеют свои отличитель-

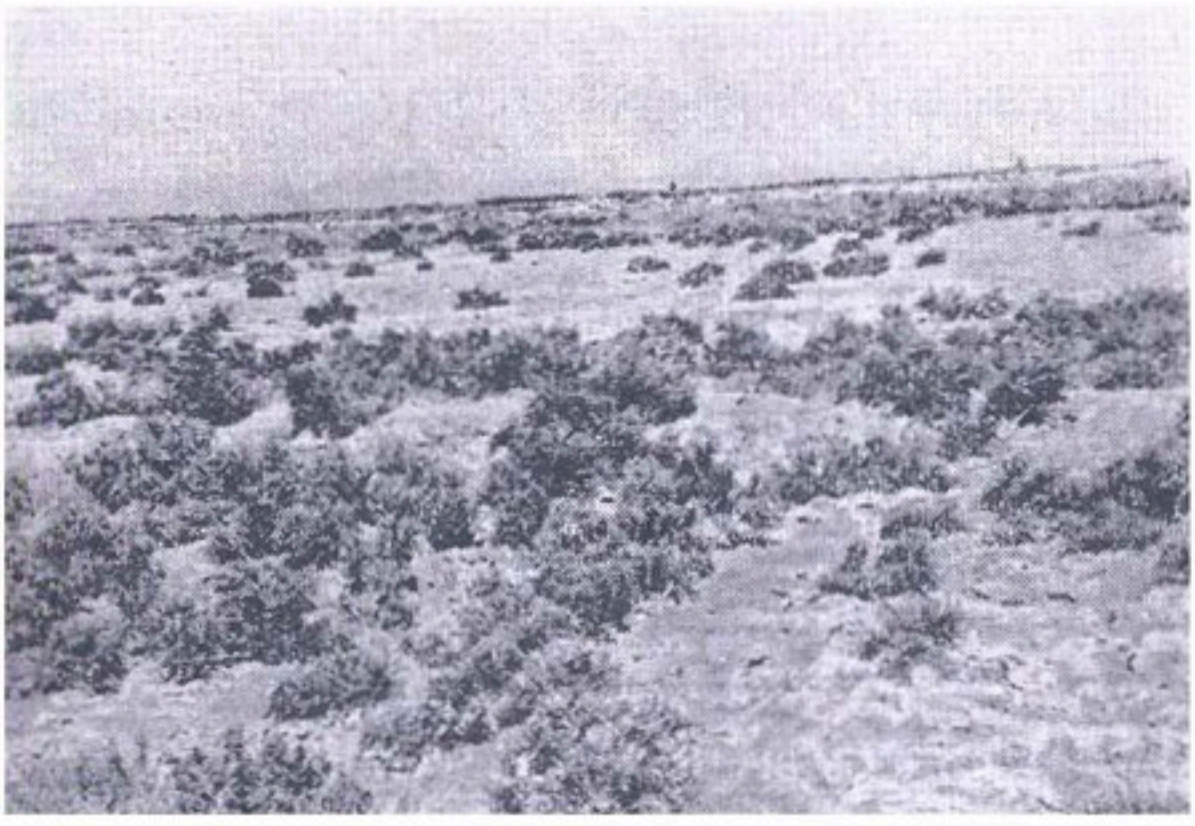

Рис. 8. Типичный солончак.

ные особенности как по генезису, так и по составу и мелиоративным качествам. Трудность освоения первичных солончаков обычно нарастает с увеличением возраста солончаковых образований. Их устойчивость как бы проверена временем, они выдержали периодическое воздействие влажных периодов в циклических колебаниях климата. Даже при глубоком уровне грунтовых вод они опасны, так как содержат огромные запасы солей по всей толще зоны аэрации и в зоне насыщения. Обычно такие солончаки имеют хлоридный состав, иногда гипсоносны.

В классификации выделяют солончаки типичные (аллювиальные и сазовые), луговые, болотные (низинные), остаточные (не связанные с грунтовыми водами). В. В. Егоров (1959) особо выделяет приморские (маршевые) солончаки, Н. В. Кимберг (1974) — солончаки коренные (в деструктивных понижениях на соленосных породах, часто щебнистых). Все эти солончаки различаются в основном по условиям развития.

*Типичные солончаки* характеризуются наличием солевой корки, отсутствием сплошного дернового корневого горизонта, растения (травянистые и полукустарники) представлены в основном солянками (рис. 8). По-

верхность почвы неровная, мелкобугристая из-за вспучивания от солей.

По условиям распространения и режиму грунтовых вод типичные солончаки разделяют на: 1) аллювиальные и 2) сазовые.

Аллювиальные солончаки развиваются на незатопляемых участках пойм и надпойменных террасах. Н. В. Кимберг (1974) к аллювиальным относит и явно вторичные оазисные солончаки, что неверно, так как такие солончаки сформировались не на аллювии, а на ирригационных отложениях.

Будучи приуроченными к молодым участкам поверхности с удовлетворительным горизонтальным водообменом грунтовых вод, аллювиальные солончаки обычно характеризуются поверхностным сульфатным или хлоридно-сульфатным засолением. Содержание гипса очень небольшое, обычно менее 5% в солевой корке, содержание карбонатов обычное для аллювиальных отложений (карбонаты в основном первичные). Аллювиальные солончаки формируются на слоистом аллювии на незатопленных участках пойм и дельт по повышениям рельефа, на обсохших поверхностях, вышедших из-под влияния паводковых режимов,— по понижениям.

В таблице 21 представлены результаты анализа водных вытяжек из образцов первичных аллювиальных солончаков, развившихся в разных условиях рельефа.

Разрезы 113 и 215 расположены на гривистых повышениях, почвы слоистые, преимущественно супесчаные, с тонкими прослойками суглинков. Состав солей хлоридно-сульфатный и сульфатный, содержание гипса около 1%. Разрез 227 заложен на борту понижения, разрез 228 — в середине понижения периферийной части Мургабской сухой дельты, куда периодически сбрасывались паводковые воды. Эти почвы не связаны с грунтовыми водами. Понижение выполнено глинистыми отложениями (55—150 см), очень плотными, практически непроницаемыми. Оно затапливалось водами, которые расходовались в основном на испарение. По бортам образовался бордюр из солончаков преимущественно сульфатного засоления; понижение, по-видимому, периодически затапливалось при больших паводках (раз в 10—20 лет) приобретало полупроточность. Хлориды и частично сульфат натрия выносились. Интересно заметить, что в солевой войлокообразной корке до 30 см

накопилось большое количество гипса (16—17%), редкий случай аллювиального гипсонакопления. Почвы повышенно-карбонатные. По этим признакам (накопление гипса и карбонатов) они сходны с сазовыми солончаками, где гипсу приписывается грунтовое происхождение. В рассматриваемом случае гипс накопился из поверхностных вод.

Аллювиальные солончаки могут иметь как легкий, так и тяжелый механический состав. К типичным аллювиальным солончакам очень близки солончаки луговые аллювиальные, хотя они выделяются в разные подтипы (на наш взгляд, необоснованно).

Луговые солончаки имеют сплошной растительный покров, чаще представленный покровом аджирека (Aeluropus litoralis), образующего плотную дернину (разрез 55). Верхний горизонт более гумусирован, чем в типичных солончаках. Луговые солончаки содержат обычно меньше солей в солевом горизонте по сравнению с типичными, они развиваются на поверхностях молодых участков долин (пойм) и дельт, периодически затапливаются паводковыми водами (но не ежегодно), характеризуются опресненными грунтовыми водами, хлоридно-сульфатно-натриевым засолением. Их можно рассматривать как первую стадию развития, предшествующую образованию типичных солончаков. Грунтовые воды под ними опреснены или слабо минерализованы с большой амплитудой колебания уровня в зависимости от паводкового режима и положения почвы по рельефу.

Аллювиальные солончаки сравнительно легко окультуриваются, хотя требуют большого объема планировочных работ. Аллювий обладает высоким плодородием, так как сам является переотложенной почвой. Почвы легко промываются, но в использовании имеются особенности. В дельтовых и пойменных частях слой опресненных вод может иметь небольшую мощность. В пойменном режиме их опресненность поддерживалась постоянным подпитыванием паводковыми водами. С обвалованием или зарегулированием стока (водохранилищем) и снятием паводкового режима опресненный слой грунтовых вод срабатывается испарением и к поверхности могут приблизиться минерализованные воды, что влечет за собой вторичное засоление. Такие примеры уже имеются в практике (Волго-Ахтубинская пойма, дельта Сырдарьи, пойма р. Или).

Таблица 21. **Состав водной вытяжки из образцов аллювиальных солончаков**

| № разреза, местоположение | Глубина, см | Плотный остаток, % | Щелочность | | Cl | $SO_4$ | Ca | Mg | Na | K | Гипс | $CaCO_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $CO_3$ | общая в $HCO_3$ | | | | | | | | |
| | | | мг-экв. на 100 г почвы | | | | | | | | | |
| 113, пойма | 0—10 | 8,68 | Нет | 0,50 | 44,8 | 80,9 | 12,5 | 37,0 | 80,5 | 1,9 | 0,89 | 12,3 |
| | 30—40 | 0,50 | » | 0,30 | 2,7 | 4,1 | 0,8 | 1,6 | 4,1 | 0,2 | 1,29 | 12,7 |
| | 77—100 | 0,76 | » | 0,30 | 2,4 | 7,9 | 2,4 | 2,8 | 4,9 | 0,1 | 1,29 | 13,6 |
| 215, гривистые повышения | 0—17 | 2,18 | » | 0,90 | 12,7 | 13,9 | 13,6 | 4,0 | 10,5 | 2,7 | 0,75 | 12,0 |
| | 17—30 | 2,85 | » | 0,80 | 12,3 | 24,5 | 12,9 | 8,1 | 16,4 | 3,2 | 0,88 | 14,7 |
| | 30—54 | 1,45 | » | 0,90 | 7,0 | 12,5 | 5,3 | 4,3 | 9,6 | 1,5 | Нет | 15,4 |
| | 54—110 | 1,45 | » | 0,90 | 2,6 | 3,4 | 1,8 | 1,4 | 3,7 | 0,4 | » | 12,4 |
| | 110—210 | 0,10 | » | 0,90 | 0,7 | 0,5 | 0,7 | 0,3 | 1,2 | 0,1 | » | 12,4 |
| | 410—430 | 0,09 | » | 1,10 | 0,2 | 0,4 | 0,7 | 0,3 | 0,6 | 0,1 | » | 19,9 |
| 227, борт замкнутого понижения | 0—10 | 2,00 | » | 0,76 | 0,1 | 27,6 | 12,4 | 0,8 | 13,5 | 0,3 | 9,8 | 9,8 |
| | 10—12 | 33,62 | » | 1,20 | 24,0 | 437,0 | 13,1 | 2,0 | 435,0 | 1,8 | 17,6 | 3,2 |
| | 13—30 | 4,20 | » | 0,56 | 28,3 | 30,0 | 15,2 | 7,5 | 37,5 | 1,3 | 16,0 | 8,0 |
| | 30—55 | 3,77 | » | 0,64 | 19,1 | 33,6 | 13,0 | 11,6 | 27,2 | 0,8 | 3,5 | 13,8 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 55—80 | 3,14 | » | 0,60 | 12,4 | 33,6 | 6,1 | 14,8 | 23,9 | 0,6 | 0,6 | 22,7 |
| | 80—100 | 2,91 | » | 0,58 | 12,21 | 28,8 | 4,3 | 12,8 | 21,8 | 0,5 | 0,6 | 23,6 |
| | 100—150 | 1,90 | » | 0,56 | 6,5 | 18,7 | 5,5 | 7,3 | 13,5 | 0,3 | 0,9 | 22,7 |
| | 150—200 | 0,47 | » | 0,88 | 1,3 | 4,6 | 1,3 | 1,7 | 3,7 | 0,0 | 0 | 14,8 |
| 228, середина понижения | 0—15 | 0,10 | » | 0,56 | 0,2 | 0,2 | 0,7 | 0,2 | 0,4 | 0,1 | Нет | 15,0 |
| | 16—45 | 0,24 | » | 0,56 | 0,7 | 1,8 | 1,0 | 0,8 | 1,6 | 0,1 | » | 23,4 |
| | 45—70 | 0,32 | » | 0,56 | 1,08 | 2,8 | 1,4 | 1,5 | 1,7 | 0,2 | » | 23,4 |
| | 70—80 | 0,35 | » | 0,60 | 0,8 | 3,2 | 1,4 | 1,8 | 1,6 | 0,2 | » | 26,1 |
| | 80—135 | 0,95 | » | 0,40 | Сл | 12,2 | 11,0 | 1,4 | 0,4 | 0,1 | 1,3 | 20,0 |
| | 135—160 | 1,15 | » | 0,40 | Сл | 14,4 | 14,1 | 1,3 | 0,2 | 0,1 | 3,1 | 17,5 |
| | 160—200 | 0,73 | » | 0,40 | Сл | 9,1 | 8,7 | 1,0 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 15,7 |
| 55, луг | 0—10 | 2,80 | » | 0,50 | 18,8 | 20,8 | 7,8 | 10,9 | 20,7 | 0,5 | 0,5 | 11,5 |
| | 10—20 | 0,74 | » | 0,52 | 3,7 | 6,7 | 2,0 | 2,8 | 5,9 | 0,3 | Нет | 11,8 |
| | 20—33 | 0,54 | » | 0,56 | 2,4 | 4,8 | 1,7 | 1,9 | 4,0 | 0,2 | » | 12,0 |
| | 33—53 | 0,41 | » | 0,47 | 2,4 | 3,3 | 0,9 | 1,6 | 3,5 | 0,1 | » | 14,0 |
| | 53—76 | 0,40 | » | 0,40 | 2,5 | 3,2 | 1,0 | 1,6 | 3,5 | 0,1 | » | 13,0 |
| | 76—96 | 0,32 | » | 0,46 | 1,5 | 2,9 | 0,9 | 1,2 | 2,4 | 0,1 | » | 12,4 |
| | 96—126 | 0,23 | » | 0,56 | 1,3 | 1,9 | 0,8 | 0,9 | 2,0 | 0,1 | » | 13,6 |
| | 126—160 | 0,23 | » | 0,61 | 1,0 | 1,8 | 0,7 | 0,8 | 1,8 | 0,1 | » | 12,1 |
| | 160—200 | 0,14 | » | 0,44 | 0,7 | 0,8 | 0,3 | 0,3 | 0,8 | 0 | » | 12,1 |

Таким образом, задача освоения пойменных земель должна решаться с учетом необходимости регулирования режима минерализации грунтовых вод и сохранения опресненного слоя грунтовых вод. Для этого придется производить периодическую влагозарядку большими нормами, что послужит одновременно и средством промывки почв. Вопросы оптимизации солевого режима на поймах, несмотря на кажущуюся простоту, еще не разработаны. Освоение пойменных солончаков требует осторожности.

Сазовые солончаки распространены вне пределов влияния пойменных процессов. Они приурочены к зоне выклинивания грунтовых вод в нижних частях подгорных равнин. Режим грунтовых вод характеризуется меньшими амплитудами колебания уровней, режим минерализации более устойчив. Подпитывание вод идет преимущественно грунтовым путем, но в некоторых случаях до недавнего времени имели значение стоки временных рек и саев, образующиеся при таянии снега и выпадении дождя в предгорьях. К настоящему времени бóльшая часть стоков зарегулирована.

Сазовые солончаки отличаются, как правило, более высокой засоленностью почв по всему профилю, повышенной карбонатностью и очень часто сильной загипсованностью. В разделе о гипсоносных почвах дана детальная их характеристика. Здесь же можно еще раз подчеркнуть, что при высокой засоленности сазовые солончаки имеют очень низкую водопроницаемость, грунтовые воды безотточны, даже при строительстве искусственного дренажа очень трудно промываются и, будучи промытыми, трудно окультуриваются. Поиски перспективных путей их мелиорации должны вестись в направлении улучшения водопроницаемости и условий обмена почвенных растворов и грунтовых вод в верхнем слое почв и грунтов. Эти почвы находятся под влиянием напорных вод. Снятие напорности облегчает борьбу с засолением, но не решает ее.

В. В. Егоровым (1964) была обоснована концепция применения комбинированного дренажа: вертикального для снятия напоров и горизонтального — для сбора промывных и грунтовых вод, заключенных в тяжелых и плохо фильтрующих верхних слоях почвогрунтов. В ряде случаев промывка требует сочетания глубокого и мелкого частого горизонтального дренажа.

Сазовые солончаки наиболее широко распространены на подгорных равнинах Копетдага и Туркестанского хребта, Малого и Большого Кавказа, а также других горных систем.

*Глинистые солончаки на сильноминерализованных водах.* В дельтовых районах среди аллювиальных почв на слоистых легких и средних по механическому составу отложениях с опресненными грунтовыми водами встречаются глинистые солончаки с высоким уровнем стояния сильноминерализованных грунтовых вод. Участки с такими почвами занимают обычно обширные понижения в дельтах, разделяющие разные фации аллювиальных слоистых пачек отложений вдоль системы русл разных генераций.

Засолению таких почв приписывался обычный аллювиальный режим соленакопления. Однако более детальное рассмотрение таких солончаков и изучение минерализации на глубину 30—50 м дает основание выделить эти почвы из серии аллювиальных и рассматривать особо как почвы, подпитывающиеся глубинными минерализованными водами.

В таблице 22 представлены анализы одного из таких солончаков и послойный состав грунтовых вод под солончаком. Состав вод хлоридно-магниево-натриевый, в то время как под аллювиальными почвами хлоридно-сульфатный и сульфатно-натриевый.

Происхождение столь высоких минерализаций можно объяснить интрузией глубинных вод, поднимающихся под давлением вод разливов на смежных, более молодых аллювиальных поверхностях. Часто такие понижения имеют тяжелый глинистый состав только в верхних 3—5 м, а глубже отложения песчаные. В других случаях почвы тяжелого состава на всю глубину слоя с небольшими песчаными прослойками и окнами легкого состава.

Такие солончаки занимают вытянутые понижения до 1 км и более шириной, площадью до 200 га и более. При меньшем количестве солей и более низком (2,5—4 м) уровне грунтовых вод верхние горизонты опресняются под влиянием атмосферных и стоковых вод и приобретают строение глыбистого солонца. Солонцы-солончаки особо широкое распространение имеют в дельте Куры. Они детально описаны в работе В. В. Егорова (1959).

Таблица 22. **Состав солей в глинистом солончаке и грунтовых водах под ним** (скважина 47)

| Глубина (для почвы в см; для грунтовых вод в м) | Плотный остаток (для почвы в %; для грунтовых вод в г/л) | $HCO_3$ | Cl | $SO_4$ | Ca | Mg | Na | $\frac{SO_4}{Cl}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Почва (в мг·экв. на 100 г почвы) | | | | | | | | |
| 0—14 | 26,6 | 0,44 | 138,6 | 23,2 | 30,0 | 30,0 | 298,2 | 0,16 |
| 14—40 | 13,3 | 0,29 | 38,2 | 7,8 | 12,2 | 12,2 | 168,5 | 0,20 |
| 40—70 | 2,9 | 0,27 | 23,8 | 8,7 | 12,0 | 12,0 | 15,8 | 0,36 |
| 70—115 | 1,6 | 0,34 | 11,5 | 6,8 | 7,2 | 7,2 | 2,8 | 0,59 |
| 115—180 | 2,5 | 0,26 | 10,6 | 7,8 | 8,5 | 8,5 | 22,1 | 0,73 |
| 180—210 | 1,5 | 0,32 | 6,4 | 3,2 | 9,2 | 9,3 | 9,2 | 0,50 |
| Грунтовые воды (в мг·экв/л) | | | | | | | | |
| 1,9 | 39,3 | 10,2 | 420,4 | 235,6 | 40,4 | 266,7 | 359,1 | 0,5 |
| 4,0 | 38,2 | 10,0 | 414,3 | 215,2 | 35,3 | 273,8 | 330,4 | 0,5 |
| 7,0 | 40,8 | 9,8 | 416,3 | 239,9 | 33,3 | 275,8 | 356,9 | 0,5 |
| 10,0 | 37,7 | 9,6 | 408,2 | 228,2 | 36,4 | 276,7 | 332,9 | 0,6 |
| 13,0 | 49,9 | 7,4 | 549,0 | 289,9 | 38,4 | 353,5 | 453,4 | 0,5 |
| 16,0 | 57,3 | 6,6 | 636,7 | 385,9 | 37,4 | 397,0 | 594,8 | 0,5 |
| 19,0 | 54,9 | 8,4 | 610,2 | 311,3 | 36,4 | 389,9 | 503,7 | 0,5 |
| 22,0 | 50,3 | 6,6 | 557,1 | 293,0 | 37,3 | 358,6 | 460,8 | 0,5 |
| 25,0 | 47,4 | 6,4 | 516,3 | 276,0 | 36,3 | 331,3 | 432,1 | 0,5 |
| 28,0 | 42,4 | 5,4 | 453,1 | 257,9 | 36,4 | 290,9 | 389,1 | 0,6 |
| 30,0 | 40,7 | 5,6 | 426,5 | 246,4 | 34,3 | 278,8 | 365,4 | 0,6 |

Солончаки и солонцы-солончаки на сильноминерализованных водах имеют очень плохие мелиоративные качества. Они практически непроницаемы, не поддаются промывкам обычными методами. Сильноминерализованные воды должны быть глубоко опущены (4—5 м), достигнуть этого горизонтальным дренажем фактически невозможно. Из-за трудности освоения такие солончаки называют злостными.

*К остаточным солончакам* относят засоленные почвы с глубоким уровнем грунтовых вод. Предполагается, что засоление почв произошло в гидроморфную стадию их развития и с опустыниванием уровень грунтовых вод опустился, а соли остались в сухих грунтах. Этой концепции придерживались все известные почвоведы (Розанов, Иванова, Ковда, Егоров, Кимберг, Лобова и др.). В то же время многие почвоведы, особенно В. В. Его-

ров, подчеркивали неустойчивость остаточного солончака в пустынных условиях. Солевая корка развеивается ветром. Автору также приходилось наблюдать процесс разрушения первичных солончаков на опустынивающихся аллювиальных землях. Развеивается не только солевая корка, но и сама почва со временем разрушается и перерабатывается в аэрально-делювиальных условиях.

Постепенность перехода аллювиального солончака в остаточный тоже никто не наблюдал. Аллювиальные и остаточные солончаки имеют разный солевой состав, первые — хлоридно-сульфатный и сульфатный, вторые — хлоридно-натриевый. Остаточные солончаки наиболее широко представлены на древнеаллювиальных равнинах Средней Азии с отакыренными или отакыривающимися почвами и в шлейфовых частях подгорных равнин Копетдага и в других местах. Солевая корка часто совмещается с плотной такыровидной коркой. Хлоридно-натриевый состав солей этому не препятствует. В составе солей корки и подкоркового слоя даже по водной вытяжке часто обнаруживается присутствие хлоридов кальция.

Остаточные солончаки в большинстве случаев имеют слоистый механический состав по профилю с преобладанием прослоек глин и тяжелых суглинков, переслаивающихся с супесчаными и песчаными маломощными слоями. При гексаметафосфатном методе пептизации выделяется 30—35% ила. С разрушением карбонатов выход ила увеличится по крайней мере в 1,5 раза. Песчаная фракция практически отсутствует. Это очень высокоилистые почвы. В дельтах Мургаба и Теджена остаточные солончаки тоже характеризуются наиболее илистым составом. Содержание ила в составе физической глины составляет 50—60% (при анализе с разрушением карбонатов по методу Н. А. Качинского).

По составу солей остаточные солончаки также специфичны. Это обычно хлоридно-натриевые солончаки. Гипс отсутствует, или его очень немного (менее 1%). Обращает на себя внимание большое различие в содержании солей между глинистыми и песчано-супесчаными слоями. Различия касаются не только твердой фазы, но и почвенного раствора. В глинистых слоях растворы (по пересчету) содержат более 100 г/л, а растворы песчаных прослоек опреснены. Возможно, пески конденсируют влагу, и солевые растворы переходят в глинистые.

В верхней части профиля даже по водной вытяжке обнаруживаются хлориды кальция и магния ($HCO_3+SO_4<Ca+Mg$). В почвенных растворах содержание хлоридов кальция и магния проявляется более заметно. Это характерно как для солончаков древнеаллювиальной равнины Амударьи, так и для сухих субаэральных дельт Мургаба и Теджена.

В. В. Егоров (1959) высказал сомнение относительно правильности трактовки этих почв только как остаточно-засоленных. Он считает их парагенетически связанными с такырами. В современный период также имеет место подпитывание этих солончаков солевыми растворами со стороны окружающих земель.

Автор разделяет эту позицию, хотя загадка генезиса этих почв не исчерпывается только объяснением наличия солей во всей мощной зоне аэрации. Тяжелый механический состав на десятки метров вглубь тоже требует своего объяснения. Возможно, участки с хлоридно-натриевыми глинистыми солончаками представляют собой остатки более древних участков суши, сформировавшиеся не в аллювиальном, а в делювиальном режиме. Это предстоит выявить последующими исследованиями. Называть их просто остаточными недостаточно. Это название не ориентирует на трудность освоения. Аллювиальное засоление нетрудно преодолевается, а остаточное от аллювиального тем более не составит никакого труда преодолеть при освоении. Рассолить же хлоридно-натриевые глинистые солончаки очень нелегко. Даже в опытах на мелких площадках эти почвы с трудом удавалось рассолять до 0,5 м и немного более. По проницаемости почвы лишь в начале опыта немного лучше такыров, затем они заплывают и перестают фильтровать. Рассоление требует больших норм промывки, что влечет быстрый подъем уровня грунтовых вод. С приближением же уровня грунтовых вод борьба с засолением еще более затрудняется, так как при этом активизируются глубинные запасы солей.

В современной практике при освоении массивов, где встречаются такие солончаки, орошение сопровождается появлением еще более сильного вторичного засоления (Хауэханский массив, северо-восточная часть Мургабской дельты).

По-видимому, промывки должны проводиться на фоне учащенного мелкого дренажа. Эксплуатационный

дренаж также должен быть учащенным и может быть усилен вакуумированием. Большую роль должны сыграть агротехнические меры борьбы с засолением, так как одни гидротехнические мероприятия вряд ли способны решить задачу рассоления и поддержания благоприятного солевого режима при эксплуатации.

*Приморские солончаки* развиваются в дельтах и обсыхающих лагунах. Систематического исследования приморские солончаки не получили. Они описывались попутно при территориальных исследованиях. Попытка привести эти описания в систему была предпринята В. В. Егоровым (1959) для Прикаспийской низменности и приаральских дельт. В прошлом приморские солончаки не представляли интереса в сельскохозяйственном отношении. Это непродуктивные земли, практически непригодные для использования даже под самые экстенсивные отрасли хозяйства. Ограничивающими факторами их использования были не только высокое содержание солей, но и специфические гидрогеологические и гидрологические условия. Сам субстрат, на котором образуются солончаки, часто даже неплодороден из-за насыщения токсическими для растений веществами. Но приморские солончаки неодинаковы как по происхождению, так и по мелиоративным качествам; среди них есть такие, которые сравнительно легко могут быть вовлечены в освоение (солончаки на аллювиальных отложениях приморских частей дельт), но есть и такие, которые для сельского хозяйства не пригодны (в лагунах, подпитываемые глубинными рассолами восходящих токов).

Необходимость освоения солончаков возникает по мере обострения дефицита воды и пригодных для орошения земель, кроме того, в связи с оздоровлением приморских районов при развитии курортов и баз отдыха, созданием условий здорового обитания для людей, работающих в промышленности по добыче и обработке полезных ископаемых, и т. д.

Делаются попытки развития орошения морскими водами. В этом направлении нужны специальные исследования по технологии освоения и возделывания и подбору культур, по регулированию гидрологических и гидрогеологических процессов. Нет сомнения, что освоение приморских районов перспективно, и к этому нужно готовиться.

В. В. Егоров (1959) выделяет следующие виды приморских солончаков: 1) соленые грязи; 2) солончаки осушенных участков морского дна; 3) приморские солончаки лопастных частей дельты; 4) солончаки на участках, периодически затапливаемых морской водой; 5) приморские солончаки вдоль старых русл.

Первые два вида — солончаки на соленых грязях и осушенных участках морского дна наиболее трудны для освоения, их считают даже практически непригодными. Но содержание категории пригодных земель все время расширяется и в результате перенесения ранее непригодных почв в пригодные. Со временем они найдут свое применение. Эти почвы отличаются высокой насыщенностью не только солями, главным образом хлоридами, но и органическими и восстановленными (сернистыми соединениями железа, сероводородом и другими веществами). Солончаки развиваются при высоком стоянии грунтовых вод, которые подпитываются со стороны моря или из глубин под влиянием напора морских вод.

Материнской породой служат морские или лагунные отложения, переполненные остатками морской фауны и флоры, и частицы, поступившие с суши с твердым стоком. Часто это вязкие ракушечно-илистые образования. Среди мелиоративных мер: осушение, сооружения по предупреждению вторжения морских вод и рекультивация — создание искусственного слоя почв с принятием мер предупреждения вторжения солевых растворов в окультуренные слои.

Вторая группа приморских солончаков развивается на аллювиальных наносах в дельтах, но под влиянием морских вод, поступающих с нагоном поверхностных вод или же через грунты. Эти почвы развиваются под влиянием периодического воздействия речных и морских вод на исходно плодородном аллювиальном субстрате.

Состав солей в солончаках более разнообразен в зависимости от степени проточности почвенных растворов и степени участия восходящих растворов. Хлоридные солончаки в таких условиях свидетельствуют о существовании восходящих хлоридных растворов из глубин или отжимающегося морского седимента нередко с хлоридом кальция (табл. 23). Часты солончаки хлоридно-сульфатные, сульфатные и сульфатно-хлоридные.

Таблица 23. **Состав водных вытяжек из образцов приморских солончаков** (по Егорову, 1959)

| № разреза, почва | Глубина, см | Плотный остаток, % | $HCO_3$ | Cl | $SO_4$ | Ca | Mg | Na по разности |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | мг-экв. на 100 г почвы | | | | | |
| 143, солончак на солевых грязях | 0—1 | 13,50 | 1,10 | 123,9 | 67,8 | 15,4 | 57,2 | 120,2 |
| | 1—4 | 7,54 | 0,43 | 80,6 | 34,6 | 8,6 | 27,7 | 86,3 |
| | 4—13 | 7,97 | 0,42 | 86,6 | 35,4 | 8,8 | 28,9 | 84,7 |
| | 13—25 | 5,19 | 0,43 | 58,7 | 23,5 | 6,3 | 19,8 | 56,5 |
| | 25—60 | 2,08 | 0,42 | 25,9 | 5,6 | 2,9 | 6,8 | 22,2 |
| 410-к, солончак осушенного морского дна | 0—2 | 6,00 | 0,47 | 86,3 | 9,52 | 30,0 | 25,7 | 40,6 |
| | 2—12 | 4,01 | 0,46 | 47,7 | 13,0 | 20,4 | 13,8 | 27,0 |
| | 12—30 | 1,08 | 0,46 | 15,0 | 2,6 | 3,7 | 3,9 | 10,5 |
| | 30—65 | 0,83 | 0,52 | 11,0 | 2,6 | 2,2 | 2,7 | 9,2 |
| | 65—107 | 1,55 | 0,55 | 18,6 | 3,5 | 3,7 | 5,2 | 13,7 |
| | 107—120 | 1,27 | 0,49 | 16,6 | 4,0 | 3,3 | 5,1 | 12,7 |
| 428, солончак на аллювии, периодически затапливаемый морской водой | 0—2 | 11,17 | 0,43 | 110,9 | 44,8 | 18,9 | 42,6 | 94,6 |
| | 2—9 | 3,51 | 0,21 | 25,9 | 24,3 | 14,6 | 9,3 | 26,3 |
| | 9—17 | 3,36 | 0,18 | 25,4 | 22,3 | 13,8 | 8,3 | 25,7 |
| | 17—36 | 3,09 | 0,18 | 29,7 | 16,3 | 8,5 | 8,1 | 29,6 |
| | 36—50 | 2,71 | 0,16 | 27,4 | 11,4 | 5,9 | 7,8 | 25,3 |
| | 50—88 | 2,57 | 0,11 | 25,9 | 11,6 | 6,9 | 7,0 | 23,7 |
| | 88—170 | 2,34 | 0,11 | 25,1 | 10,6 | 5,1 | 6,8 | 23,9 |
| | 170—230 | 2,88 | 0,15 | 29,7 | 14,8 | 5,6 | 7,6 | 31,5 |
| Солончак вдоль старого русла на аллювиальных отложениях | 0—6 | 8,72 | 0,43 | 95,1 | 42,7 | 21,5 | 37,4 | 121,9 |
| | 6—15 | 2,85 | 0,34 | 40,1 | 6,3 | 2,8 | 9,1 | 34,8 |
| | 15—30 | 2,70 | 0,34 | 35,5 | 8,6 | 4,5 | 9,1 | 30,8 |
| | 30—50 | 0,93 | 0,52 | 6,7 | 7,2 | 2,8 | 1,3 | 10,3 |
| | 50—75 | 1,09 | 0,39 | 2,0 | 13,6 | 10,5 | 1,3 | 4,2 |
| | 85—155 | 0,74 | 0,43 | 7,1 | 4,2 | 3,1 | 1,0 | 7,6 |
| То же | 0—12 | 2,73 | 0,39 | 22,8 | 17,6 | 7,5 | 11,0 | 22,3 |
| | 12—25 | 1,83 | 0,39 | 7,7 | 17,6 | 10,0 | 4,9 | 10,4 |
| | 25—45 | 1,00 | 0,39 | 5,9 | 8,0 | 2,3 | 3,4 | 8,6 |
| | 45—59 | 0,89 | 0,39 | 4,9 | 7,6 | 3,4 | 2,4 | 7,1 |
| | 59—70 | 0,26 | 0,43 | 1,6 | 1,7 | 0,8 | 0,5 | 2,7 |

Успех освоения этих почв зависит от регулирования тока поверхностных и речных вод и ограничения поступления грунтовых вод, снижения их уровня до безопасной глубины. Все это потребует сооружения сложных гидротехнических устройств и сети насосных станций для перекачки вод в море.

*Солончаки тектонически-деструктивных понижений.* В Средней Азии имеются обширные впадины площадью от 10 до 150 тыс. га, такие, как Сарыкамышская, Арнасайская, Шорсайская, Чарагыльская и др., образовавшиеся в районах неотектонических проявлений, усложненных экзогенными деструктивными процессами. Эти

впадины, как правило, имеют четкие очертания и глубоко врезаны. Поверхностные слои представлены новейшими резкослоистыми супесчано-глинисто-суглинистыми отложениями временных водотоков, собирающих воду с окружающей территории после выпадения осадков.

Почвы таких понижений развиваются, как правило, на слабонапорных грунтовых водах по солончаковому типу. Обычно это молодые понижения среднечетвертичного периода, запасы солей в них в общем небольшие, хотя грунтовые воды, чаще хлоридного состава, могут достигать высоких минерализаций — 30—60 г/л. Солончаки хлоридного состава, иногда хлоридно-сульфатного и сульфатного при наличии проточности вод.

Солончаковые тектонически-деструктивные понижения использовались как малопродуктивные пастбища. В настоящее время в части из них стихийно или планово образованы водоемы (Арнасайское, Сарыкамышское) путем сброса дренажных и избытка паводковых вод, другие планируются под водохранилища (Шорсайское и др.).

Запасы солей в почвах и восходящие токи грунтовых вод будут осолонять воды, этому же будет способствовать и высокая испаряемость с водной поверхности. В связи с этим гидрохимический прогноз и контроль — непременные условия использования таких вод для орошения.

*Вторичные солончаки оазисов древнего орошения.* Вторичное засоление почв отличается от природного (первичного) соленакопления быстрыми темпами развития. Первичному засолению подвержены почвы при близком уровне грунтовых вод на территориях с плохой дренированностью в условиях сухого климата. Природное соленакопление имеет поступательный характер. При этом многовековые циклы накопления и миграции солей зависят от истории формирования рельефа, грунтов, грунтовых вод и почв, а также от периодических колебаний климата.

Вторичному засолению могут подвергаться почвы, которые до ирригации находились как в стадии засоления, так и рассоления. Грунтовые воды на рассоляющихся территориях опускаются, но с началом орошения они снова быстро поднимаются. Засоление почв возобновляется в значительных размерах в результате мо-

билизации запасов солей, накопившихся в грунтах и грунтовых водах.

Вторичное засоление уже на первых стадиях своего развития имеет ряд отличий от первичного, как это было показано на примере Голодной степи (Розанов, 1945; Панков, 1956). Особенности соленакопления на территориях древнего орошения слабо изучены, несмотря на большое количество исследований в связи с проблемой мелиорации засоленных почв.

Впервые о вторичном засолении орошаемых почв как о большом бедствии упоминается в древнейших документах Вавилона (2400—2100 гг. до н. э.), где орошаемое земледелие в течение более тысячи лет обеспечивало процветание шумерийской цивилизации. Несмотря на многотысячелетнюю давность своего существования, проблема борьбы с вторичным засолением не утратила остроты до настоящего времени. Более того, с расширением орошаемого земледелия она приобретает все большее практическое значение, так как расширение орошаемых площадей осуществляется в основном за счет пустующих засоленных земель древних оазисов. Попытки расширения орошения во многих случаях приводили к потере части уже освоенных земель вследствие вторичного засоления.

Описание вторичных солончаков дано для территории Мургабской дельты.

Мургабский оазис — один из древнейших очагов орошаемого земледелия. Высокий уровень ирригационного земледелия, отмеченный уже в IV в. до н. э. греками и вызывавший восхищение у путешественников во времена арабского завоевания (VII в. н. э.) вплоть до монгольского нашествия (XIII в.), оказал значительное влияние на развитие ирригации в странах Ближнего Востока. После монгольского завоевания ирригация приходит в упадок. Монголы разрушили водорегулирующую плотину, орошение переместилось на запад, на более низкие земли. Позже сооружения, позволявшие подавать воду на земли древнего орошения, несколько раз восстанавливались и разрушались снова в войнах с Хорезмом, Бухарой и Афганистаном, а затем туркменскими кочевыми племенами. Только в конце прошлого — начале настоящего столетия часть земель древнего орошения вновь стали орошать после сооружения новых плотин.

В настоящее время Мургабский оазис является важным объектом сельскохозяйственной ирригации и мелиорации. В 1959 г. амударьинская вода по Каракумскому каналу пришла в оазис. Вдвое расширяется посевная площадь. Значительно усилилось питание грунтовых вод, уже начался новый цикл перераспределения древних запасов солей в почвогрунтах.

На рисунке 9 представлен схематический профиль через дельту. По мощности агроирригационных отложений можно видеть расположение земель различной давности орошения. Наиболее молодые орошаемые луговые почвы находятся в западной части Мургабской дельты, наиболее древние — в восточной. Между ними залегает широкая полоса, где орошение хотя и много раз прерывалось, но в сумме, по-видимому, насчитывает около тысячи лет. Длительность орошения восточного массива насчитывает более 2000 лет, западного — около 200 лет.

На Марыйской (западной) части дельты местами сохранились первичные луговые и тугайные солончаки. Но с увеличением КЗИ (коэффициент земельного использования) до 0,7—0,8% ускорилось образование вторичных солончаков вследствие плохих условий оттока грунтовых вод.

Вторичные молодые солончаки характеризуются высоким поверхностным засолением и слабым в подпочвенных слоях.

В центральной части дельты на землях древнего орошения солончаками занято около 30% земель. Этот массив включает часть земель Мургабского, Марыйского и Байрам-Алийского административных районов. На данном массиве наибольшие запасы солей сосредоточены в солончаках межканальных понижений. Метровая толща солончака содержит до 450 т/га водорастворимых солей. Грунты второго метра от поверхности почвы содержат тоже большое количество солей — около 100—200 т/га. Такие солончаки развиваются на близких (с уровнем на глубине 1,5—2 м от поверхности почвы) грунтовых водах, занимают площадь 20%. Минерализация грунтовых вод очень высокая — 20—80 г/л, причем с глубиной до 25 м она хотя и уменьшается, но все же остается высокой.

Кроме солончаков межканальных понижений, на территории массива более 10% общей площади занято

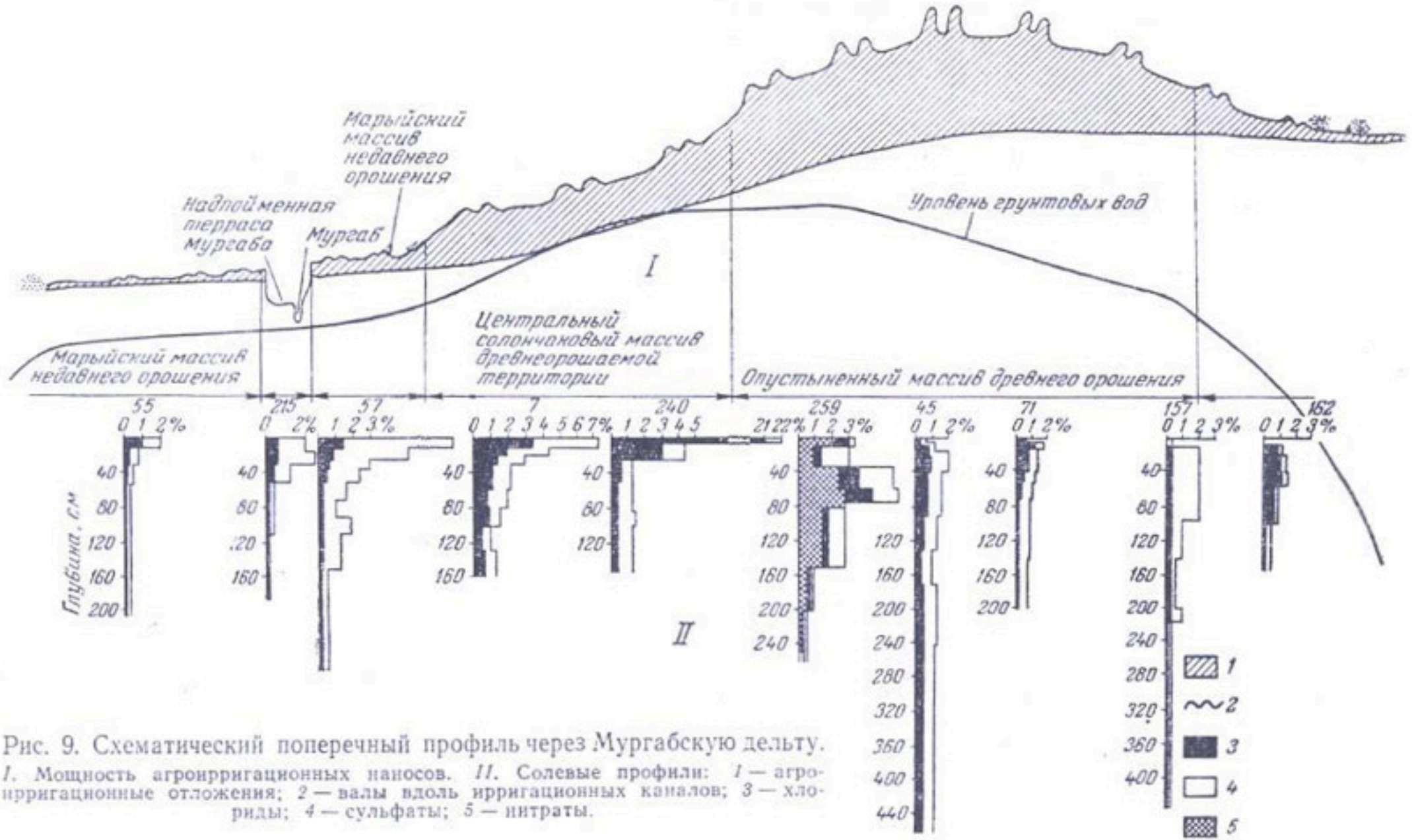


Рис. 9. Схематический поперечный профиль через Мургабскую дельту.

*I.* Мощность агроирригационных наносов. *II.* Солевые профили: *1* — агроирригационные отложения; *2* — валы вдоль ирригационных каналов; *3* — хлориды; *4* — сульфаты; *5* — нитраты.

солончаками, сформировавшимися вдоль каналов, дорог, на всевозможных буграх и территориях селений. Имеются отдельные пятна поверхностно-засоленных солончаков и на орошаемых полях, располагающихся на склонах от канала к понижению.

Восточная часть массива до нового орошения была представлена преимущественно опустыненными землями. Почвы, орошавшиеся в древности, были отакырены, и верхние 4—6 см рассолены. Но определения содержания солей в отакыренных почвах древних межканальных понижений показывают, что и здесь запасы солей в метровой толще почв велики (до 150—200 т/га), а содержание хлоридов высоко (рис. 9). С подъемом грунтовых вод после пуска Каракумского канала соли концентрируются в верхнем горизонте почв и площади вторичных солончаков увеличиваются. Минерализация грунтовых вод под ними составляет обычно 30—40 г/л.

Процесс соленакопления осложнялся периодическими перерывами в орошении вследствие разрушения ирригационных систем в результате войн и стихийных бедствий. Перерыв в орошении — это опускание грунтовых вод и опустынивание почв; начало нового орошения — подъем грунтовых вод, перераспределение солей и вторичное засоление в некоторых местах. В результате сложной истории орошения в Мургабском оазисе возникло большое разнообразие вторичных солончаков.

Хлоридные солончаки. На древнеорошаемых массивах формируются своеобразные солончаки хлоридно-кальциево-магниевого засоления и сульфатно-гипсового состава солей. В литературе имеются сведения об аналогичных образованиях и в других древнеорошаемых оазисах, в Вахшской долине (Грабовская, 1961), Фергане (Розанов, 1946), дельте Амударьи (Егоров, 1959), в Месопотамской долине (Буринг, 1960) и других местах.

Солончаки с повышенным содержанием $CaCl_2$ и $MgCl_2$ сосредоточены преимущественно на древнеорошаемых массивах.

Хлоридно-кальциево-магниевые солончаки по утрам даже летом имеют влажную темную поверхность вследствие высокой гигроскопичности $CaCl_2$ и $MgCl_2$, поглощающих влагу из воздуха. Они формируются на мощных ирригационных отложениях средне- и тяжелосуглинистого механического состава. Нередко они приурочены

к небольшим давно заброшенным арыкам и орошавшимся полям, но наиболее часты в межканальных понижениях. Грунтовые воды залегают на глубине от 150 до 300 см от поверхности.

Агроирригационные горизонты, на которых образовались вторичные солончаки, характеризуются большой однородностью, обильными следами жизнедеятельности дождевых червей и насекомых, что указывает на интенсивное использование почвы в прошлом. Это дает основание считать, что почва не была первичнозасоленной.

В таблице 24 представлены данные анализа водной вытяжки из почвенных образцов. Солевая корка (0—4 см) содержит 20% солей от сухой почвы, 99% от суммы солей составляют хлориды $CaCl_2$, $MgCl_2$ и NaCl и только 1% приходится на $CaSO_4$. Обращает на себя внимание высокое содержание К — 9,85 мг·экв. на 100 г почвы, которому обычно сопутствует эквивалентное количество $NO_3$ (нитраты не определяли).

В солевом профиле почвы наблюдаются как бы четыре зоны: 1) капиллярная кайма (от грунтовых вод до глубины 100 см от дневной поверхности почвы) имеет хлоридно-сульфатно-натриевый состав; 2) выше капиллярной каймы (от 100 до 40 см), состав солей сульфатно-хлоридно-натриевый; 3) подкорковый слой (4—20 см), состав солей сульфатно-хлоридно-натриевый; 4) солевая корка (0,4 см), хлоридно-кальциево-магниевый состав. Наблюдается как бы метаморфизация солей по профилю почвы от сульфатно-натриевых до хлоридно-кальциево-магниевых.

Хлоридные солончаки межканальных понижений отличаются от описанных выше тем, что верхние горизонты почвы имеют постоянную связь с грунтовыми водами; капиллярная кайма достигает поверхности почвы; нередко ирригационные отложения в межканальных понижениях менее однородны, чем на склонах от канала к понижению, и имеют глинистый состав.

Разрез 240 заложен на перелоге в понижении. Глубина грунтовых вод 150 см, минерализация — 37 г/л. В составе ионов грунтовых вод отмечается повышенное содержание Mg по сравнению с грунтовыми водами, вскрытыми в разрезе 66.

Поверхность хлоридно-кальциевых солончаков всегда очень влажная и мелкобугристая в результате раздвигания и выталкивания почвенных частиц при росте

Таблица 24. **Состав водной вытяжки из образцов хлоридных солончаков массива древнего орошения**

| Глубина, см | Плотный остаток, % | $HCO_3$ | $CO_3$ | Cl | $SO_4$ | $NO_3$ | Ca | Mg | Na | K |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | мг·экв. на 100 г воздушно-сухой почвы | | | | | | | пламенным фотометром | |
| **Разрез 66** | | | | | | | | | | |
| 0—4 | 19,78 | 0,6 | Следы | 294,0 | 4,2 | Не опр. | 57,1 | 166,9 | 55,2 | 9,9 |
| 4—20 | 2,03 | 0,4 | Нет | 15,2 | 10,7 | » » | 10,2 | 4,4 | 10,3 | 1,9 |
| 20—40 | 0,34 | 0,5 | » | 1,7 | 2,7 | » » | 1,4 | 0,7 | 1,7 | 0,3 |
| 40—60 | 0,28 | 0,5 | » | 2,0 | 1,8 | » » | 0,9 | 0,6 | 2.3 | 0,2 |
| 60—80 | 0,39 | 0,5 | » | 3,5 | 2,7 | » » | 1,0 | 0,9 | 3,7 | 1,1 |
| 80—100 | 0,43 | 0,5 | » | 3,3 | 2,6 | » » | 1,1 | 1,0 | 4,0 | 0,2 |
| 100—130 | 0,67 | 0,4 | » | 3,3 | 6,3 | » » | 1,3 | 1,4 | 6,5 | 0,2 |
| 130—160 | 0,68 | 0,7 | » | 3,0 | 5,9 | » » | 1,6 | 1,4 | 6,5 | 0,2 |
| 241—251 | 0,89 | 0,6 | » | 5,8 | 6,0 | » » | 1,9 | 1,9 | 8,7 | 0,2 |
| Грунтовые воды, г/л и мг·экв/л | 39,50 | 13,0 | » | 306,0 | 257,0 | » » | 21,8 | 144,5 | 391,9 | 5,1 |
| **Разрез 240** | | | | | | | | | | |
| 0— 5 | 21,90 | 0,2 | Нет | 314,1 | 6,5 | 3,1 | 61,2 | 99,0 | 152,2 | 3,8 |
| 5— 26 | 4,30 | 0,2 | » | 51,7 | 9,4 | 1,0 | 13,5 | 20,9 | 27,0 | 1,7 |
| 26— 50 | 1,20 | 0,3 | » | 9,5 | 8,5 | 0,1 | 2,2 | 3,8 | 11,1 | 0,3 |
| 50— 85 | 1,20 | 0,2 | » | 6,5 | 10,4 | Следы | 2,7 | 3,3 | 10,2 | 0,2 |
| 85—100 | 1,40 | 0,2 | » | 7,7 | 12,9 | » | 4,4 | 4,1 | 10,7 | 0,1 |
| 100—145 | 1,40 | 0,2 | » | 6,4 | 12,3 | Не опр. | 4,6 | 4,4 | 9,3 | 0,2 |
| Грунтовые воды, г/л и мг·экв/л | 37,00 | 10,7 | » | 346,0 | 254,0 | То же | 41,7 | 287,3 | 282,3 | Не опр. |

кристаллов солей. Содержание солей (табл. 24) в корке 0—5 см равно 22%, на глубине 5—26 см — 4,3%, глубже 26 см засоление снижается до 1,16—1,41%. В нижней части профиля преобладают сульфаты, к поверхности почвы содержание сульфатов уменьшается вдвое, а хлоридов возрастает в 10—50 раз по сравнению с нижней частью почвенного профиля. При этом в 15—30 раз возрастает содержание Ca, в 20 раз — Mg, в 15 раз — Na. Соли в корке представлены в основном $CaCl_2$, $MgCl_2$, NaCl, $KNO_3$ и $CaSO_4$. Содержание гипса в таких солончаках обычно не превышает 3—4%. $CaCO_3$ колеблется в пределах 18—25% почвенной массы.

Сульфатные солончаки на мощных ирригационных отложениях располагаются обычно на интенсивно промываемых полях в нижней части склона от канала к межканальному понижению. Иногда образуют самостоятельные солончаковые пятна среди древнеорошаемых почв. Они имеют небольшое распространение. Поверхность таких солончаков мелкобугриста, покрыта зарослями солянок. Глубина грунтовых вод обычно 1—3 м от поверхности почвы, минерализация — 18—20 г/л, редко более. Отсутствие аллювиальной слоистости по профилю почвы и наличие грубо перемешанных отложений также свидетельствуют об искусственном происхождении верхней части почвы, хотя здесь и не отмечено хорошей вторичной переработанности отложений, свойственной интенсивно используемым древнеорошаемым почвам. На окружающих полях слой агроирригационных отложений определяется более отчетливо, мощность его 2—2,5 м.

Солончак характеризуется ярко выраженным сульфатным засолением (табл. 25) — $SO_4$ составляет 82—94% от суммы анионов. В нижней части почвы накапливается гипс, содержание которого достигает 10—18% от почвы. Mg по всему профилю меньше 12% от суммы катионов. Этим вторичные сульфатные солончаки в Мургабском оазисе отличаются от первичных, где Mg составляет 20—32%. Содержание карбонатов во вторичном солончаке ($CaCO_3$ — 14—16%) несколько больше, чем в тугайных, но меньше, чем в древнеорошаемых почвах. Особенно низко (8,6%) содержание $CaCO_3$ на контакте с грунтовыми водами. По-видимому, уменьшение содержания карбонатов по сравнению с исходными отложениями вызвано разрушением их продуктами окис-

Таблица 25. Состав водной вытяжки сульфатных и хлоридно-нитратных солончаков

| Глубина, см | Плотный остаток, % | мг-экв. на 100 г воздушно-сухой почвы | | | | | | | | | | $CaCO_3$, $\cdot 2H_2O$ за вычетом водорастворимого, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $HCO_3$ | $CO_3$ | Cl | $SO_4$ | $NO_3$ | Ca | Mg | Na + K пламенным фотометром | | $CaCO_3$ по $CO_2$, % | |
| Разрез 67 | | | | | | | | | | | | |
| 0—6 | 11,96 | 0,8 | 0,4 | 26,9 | 139,7 | Не опр. | 11,9 | 9,7 | 141,0 | 3,2 | 12,3 | 1,04 |
| 6—25 | 4,50 | 0,7 | 0,2 | 10,9 | 51,0 | » » | 10,5 | 7,9 | 42,4 | 1,4 | 14,1 | 1,54 |
| 25—50 | 2,29 | 0,5 | 0,1 | 5,6 | 27,7 | » » | 8,1 | 3,1 | 19,6 | 0,7 | 14,6 | Не опр. |
| 50—75 | 1,18 | 0,6 | Нет | 1,5 | 14,8 | » » | 6,5 | 1,6 | 7,2 | 0,3 | 14,6 | » » |
| 75—100 | 1,20 | 0,6 | » | 1,4 | 13,7 | » » | 5,9 | 1,6 | 8,0 | 0,3 | 16,4 | » » |
| 100—125 | 1,65 | 0,5 | » | 1,2 | 20,5 | » » | 11,6 | 2,0 | 7,8 | 0,3 | 16,6 | 9,66 |
| 125—150 | 1,62 | 0,5 | » | 1,0 | 20,1 | » » | 12,5 | 1,9 | 6,7 | 0,2 | 14,3 | 18,00 |
| 150—165 | 1,59 | 0,6 | » | 1,0 | 19,5 | » » | 13,4 | 1,5 | 5,4 | 0,2 | 8,6 | 18,60 |
| Грунтовые воды, г/л и мг-экв/л | 18,18 | 13,2 | » | 51,6 | 193,3 | » » | 28,1 | 33,2 | 178,2 | 2,0 | Не опр. | |
| Разрез 142 | | | | | | | | | | | | |
| 0—10 | 7,27 | 0,2 | Нет | 42,3 | 16,5 | 22,6 | 40,5 | 9,9 | 38,3 | 8,9 | Не опр. | |
| 10—20 | 6,54 | 0,2 | » | 41,3 | 9,5 | 18,4 | 32,0 | 11,3 | 34,1 | 8,6 | » » | |
| 50—60 | 4,10 | 0,3 | » | 26,5 | 9,5 | 15,9 | 18,0 | 11,3 | 19,6 | 5,0 | » » | |
| 75—80 | 2,97 | 0,3 | » | 22,4 | 2,9 | 13,4 | 12,5 | 5,4 | 16,5 | 4,6 | » » | |
| Разрез 100 | | | | | | | | | | | | |
| 0—8 | 6,47 | 0,7 | Нет | 29,7 | 14,3 | 31,0 | 30,7 | 15,2 | 28,3 | 7,7 | 16,5 | 0,12 |
| 10—20 | 3,89 | 0,5 | » | 16,5 | 12,8 | 21,8 | 20,1 | 7,4 | 16,3 | 5,2 | 19,2 | 0,12 |
| 40—50 | 1,47 | 0,5 | » | 7,4 | 3,0 | 10,5 | 4,5 | 2,6 | 8,9 | 2,8 | 19,2 | Нет |
| 65—75 | 1,58 | 0,5 | » | 7,3 | 3,3 | 12,1 | 4,5 | 3,3 | 9,5 | 3,1 | 19,0 | » |
| 120—130 | 1,49 | 0,5 | » | 3,2 | 11,4 | 4,8 | 9,3 | 2,6 | 4,5 | 2,9 | 18,6 | 0,45 |



ления восстановленной серы с образованием при этом $H_2SO_4$, которая, реагируя с кальцитом, дает гипс. Таким образом, характерные особенности анализируемого солончака — повышенная сульфатность, значительное накопление гипса, уменьшение магнезиальности и хлоридности почв по сравнению с первичными солончаками.

Хлоридно-нитратные кальциево-натриевые солончаки — специфические образования территорий древнего орошения аридной зоны. В Мургабском оазисе обогащенные селитрой солончаки встречаются на массивах древнего орошения на различных буграх, разрушенных стенах (разрез 142), на развалинах селений и руинах древних каналов (разрез 100). Нередко вторичные солончаки, образовавшиеся в придорожных, не используемых под культуры полосах, тоже богаты селитрой. Селитроносные бугры и валы часто возвышаются над окружающей территорией на несколько метров. Грунтовые воды под ними залегают глубоко. Поверхность солончаков поэтому сухая. Механический состав селитроносных солончаков самый разнообразный, чаще легкосуглинистый.

Культурные отложения, на которых формируются селитроносные солончаки, образуют нередко толщу в несколько метров, а на развалинах древних городов — в несколько десятков метров. Эти отложения отличаются обильными включениями черепков, обломков кирпича, костей, золы, угольков и органических остатков. Из таблицы 26 видно, что эти солончаки накопили большое количество солей — 3—7%, из которых 3—4% приходится на нитраты, т. е. 42—52% от суммы солей. Среди катионов в верхнем горизонте преобладает кальций, а глубже натрий. На развалинах городов и селений обнаруживается значительное накопление калия — до 1,5% и $P_2O_5$ до 1,5—2% от сухой почвы. В нитратных солончаках нередко наблюдается накопление большого количества Cl в виде NaCl и $CaCl_2$ (разрез 142).

Вторичные солончаки сформировались на искусственных отложениях. Первичные почвы докультурного периода погребены слоем ирригационных отложений мощностью 1—3 м и служат подстилающими породами. Наиболее часто на массивах древнего орошения вторичные солончаки образуются в межканальных понижениях и других внутриоазисных депрессиях с близкими к поверхности почвы грунтовыми водами.

ления восстановленной серы с образованием при этом $H_2SO_4$, которая, реагируя с кальцитом, дает гипс. Таким образом, характерные особенности анализируемого солончака — повышенная сульфатность, значительное накопление гипса, уменьшение магнезиальности и хлоридности почв по сравнению с первичными солончаками.

Хлоридно-нитратные кальциево-натриевые солончаки — специфические образования территорий древнего орошения аридной зоны. В Мургабском оазисе обогащенные селитрой солончаки встречаются на массивах древнего орошения на различных буграх, разрушенных стенах (разрез 142), на развалинах селений и руинах древних каналов (разрез 100). Нередко вторичные солончаки, образовавшиеся в придорожных, не используемых под культуры полосах, тоже богаты селитрой. Селитроносные бугры и валы часто возвышаются над окружающей территорией на несколько метров. Грунтовые воды под ними залегают глубоко. Поверхность солончаков поэтому сухая. Механический состав селитроносных солончаков самый разнообразный, чаще легкосуглинистый.

Культурные отложения, на которых формируются селитроносные солончаки, образуют нередко толщу в несколько метров, а на развалинах древних городов — в несколько десятков метров. Эти отложения отличаются обильными включениями черепков, обломков кирпича, костей, золы, угольков и органических остатков. Из таблицы 26 видно, что эти солончаки накопили большое количество солей — 3—7%, из которых 3—4% приходится на нитраты, т. е. 42—52% от суммы солей. Среди катионов в верхнем горизонте преобладает кальций, а глубже натрий. На развалинах городов и селений обнаруживается значительное накопление калия — до 1,5% и $P_2O_5$ до 1,5—2% от сухой почвы. В нитратных солончаках нередко наблюдается накопление большого количества Cl в виде NaCl и $CaCl_2$ (разрез 142).

Вторичные солончаки сформировались на искусственных отложениях. Первичные почвы докультурного периода погребены слоем ирригационных отложений мощностью 1—3 м и служат подстилающими породами. Наиболее часто на массивах древнего орошения вторичные солончаки образуются в межканальных понижениях и других внутриоазисных депрессиях с близкими к поверхности почвы грунтовыми водами.

Таблица 26. **Состав водных вытяжек из образцов вторичных солончаков массива нового орошения Мургабской дельты**

| № разреза | Глубина, см | Плотный остаток, % | $NO_3$ | $HCO_3$ | Cl | $SO_4$ | Ca | Mg | Na | K |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | мг-экв. на 100 г почвы | | | | | | | |
| 308 | 0—5 | 4,61 | 0,84 | 0,32 | 65,3 | 5,5 | 16,9 | 13,6 | 38,1 | 0,64 |
| | 5—25 | 1,33 | 0,72 | 0,36 | 15,4 | 3,4 | 3,1 | 3,8 | 11,7 | 0,18 |
| | 25—50 | 1,48 | 0,81 | 0,36 | 17,7 | 3,7 | 2,9 | 5,6 | 12,6 | 0,10 |
| | 50—80 | 1,67 | 0,81 | 0,36 | 17,3 | 7,3 | 5,5 | 5,9 | 12,6 | 0,13 |
| | 80—100 | 1,06 | 0,32 | 0,36 | 9,2 | 6,2 | 3,4 | 3,0 | 8,7 | 0,08 |
| | 100—130 | 0,99 | 0,24 | 0,40 | 9,2 | 4,4 | 2,6 | 2,9 | 8,7 | 0,08 |
| | 130—160 | 1,14 | 0,32 | 0,36 | 11,1 | 4,4 | 3,3 | 3,5 | 9,3 | 0,05 |
| 537 | 0—2 | 4,67 | 6,45 | 0,44 | 65,2 | 6,3 | 13,5 | 10,5 | 47,8 | 0,69 |
| | 2—25 | 5,86 | 12,90 | 0,31 | 76,2 | 14,5 | 14,0 | 14,8 | 60,9 | 0,41 |
| | 25—50 | 1,56 | 1,93 | 0,31 | 13,2 | 9,8 | 6,3 | 4,1 | 13,5 | 0,13 |
| | 50—100 | 1,30 | 0,64 | 0,31 | 12,0 | 8,2 | 3,7 | 3,6 | 13,0 | 0,13 |
| | 100—150 | 1,55 | 0,32 | 0,28 | 11,9 | 11,1 | 5,2 | 4,0 | 14,8 | 0,18 |
| | 150—200 | 1,71 | 0,32 | 0,28 | 13,5 | 12,0 | 4,9 | 4,4 | 16,5 | 0,20 |
| | 200—250 | 1,59 | 0,64 | 0,67 | 12,2 | 11,0 | 4,0 | 2,0 | 15,0 | 0,26 |
| 549 | 0—2 | 7,31 | Нет | 0,24 | 74,0 | 27,1 | 22,9 | 22,9 | 56,5 | 0,84 |
| | 2—25 | 2,37 | Следы | 0,38 | 24,3 | 9,7 | 6,2 | 7,6 | 18,3 | 0,44 |
| | 25—50 | 2,37 | » | 0,32 | 29,0 | 6,1 | 2,8 | 6,9 | 26,1 | 0,36 |
| | 50—75 | 3,69 | » | 0,24 | 40,6 | 12,6 | 6,6 | 11,8 | 36,1 | 0,33 |
| | 76—100 | 3,14 | » | 0,34 | 38,6 | 8,0 | 4,8 | 9,0 | 31,7 | 0,23 |
| | 100—150 | 1,03 | 0,02 | 0,28 | 12,2 | 4,1 | 1,9 | 3,2 | 11,7 | 0,08 |
| | 150—200 | 2,13 | 0,02 | 0,32 | 23,6 | 5,5 | 2,4 | 4,8 | 21,8 | 0,10 |

Питание грунтовых вод в оазисе осуществляется в результате фильтрации из каналов и с орошаемых полей. При этом возникают многочисленные места локального транзита и локальной аккумуляции солей, которые при большой давности орошения достигают значительного количественного выражения. На пути местных оттоков грунтовых вод от каналов образуются препятствия в виде встречных потоков фильтрации от других каналов и полей, возникают местные напоры грунтовых вод. На контакте этих встречных потоков возникают новые очаги аккумуляции солей.

Среди древнеорошаемых массивов вторичные солончаки встречаются всюду, где создаются места общего или локального преобладания притока над оттоком, испарения над опреснением. Солончаки можно обнаружить во всех частях Мургабской дельты, а не только по периферии, как в природных условиях. Внутри оазиса вторичные солончаки имеют даже более значительные размеры засоления, чем по периферии.

Важный фактор перераспределения солей — переустройство ирригационной сети и перерывы в орошении. При этом могут перемещаться очаги вторичной аккумуляции солей, охватывая новые, ранее не подверженные засолению, места. Быстрому перемещению подвержены наиболее легко растворимые соли. В этом отношении характерен процесс образования вторичных солончаков на опустыненном массиве нового орошения в Мургабском оазисе, территория которого не орошалась со времени монгольского нашествия. Грунтовые воды опустились на глубину 16—20 см от дневной поверхности, минерализация их 30—40 г/л, состав солей сульфатно-хлоридно-натриевый. Отакыривающиеся почвы были сформированы на мощных древних агроирригационных отложениях мощностью до 3—3,5 м. Почвы до нового освоения содержали соли в количестве меньше 0,3% по плотному остатку, т. е. были не засолены до 4 м. С пуском Каракумского канала и новым, в общем хаотичным орошением через 5—7 лет воды поднялись до 2—3 м и появились вторичные солончаки хлоридного состава с повышенным содержанием нитратов щелочей (табл. 26).

В литературе сложилось не вполне точное представление о магниевых солях как менее подвижных по сравнению с натриевыми, что нашло отражение и при расчетах солевого состава засоленных почв (Грабовская, 1961). Такое представление справедливо только для бикарбонатных и карбонатных солей. При сульфатном и хлоридном составе магниевые соли подавляют растворимость натриевых. Об этом свидетельствует изучение растворимости многокомпонентных солевых систем при наличии в твердой фазе встречающихся в почвах солей.

Магниевые соли, оставаясь в растворах более продолжительное время, имеют большую возможность для миграции. Хлоридно-магниевые и натриевые соли первыми выносятся при опреснении почвы и быстрее других накапливаются при вторичном засолении.

Повышенное накопление Mg в почвах и грунтовых водах при высоком содержании Cl характерно для почв межканальных понижений (разрез 240) — наиболее ярко выраженных очагов вторичной аккумуляции. В других солончаках массива древнего орошения содержание Mg обычно не превышает 10—15% от суммы катионов.

В древних оазисах, кроме солончаков по межканальным понижениям, формируются солончаки и на более высоких элементах ирригационного рельефа, часто на слабоминерализованных грунтовых водах. Имеются «сухие» солончаки, которые не связаны с грунтовыми водами. Микроповышенные пятна на орошаемых полях, перелоги, пустыри и другие не используемые под орошение почвы со временем становятся солончаками. Солончаки вдоль древних каналов и на развалинах селений и глинобитных стен вокруг древних городов содержат до 7% и более солей. В оазисах вдоль древних каналов образовались широкие полосы бросовых земель, приподнятых над окружающей поверхностью, неудобных для орошения. Несмотря на глубокое залегание грунтовых вод и значительное их опреснение, почвы сильно засоляются (разрез 100). Аналогичное явление наблюдается и в других оазисах; особенно ярко оно проявляется в древнейшем из них — Месопотамской долине (Ирак).

Таким образом, на древнеорошаемых территориях местами отмечается своего рода инверсия в расположении засоленных почв: вдоль древних каналов они оказываются более сильно засоленными, чем почвы склонов, при этом среди солей преобладают нитраты и хлориды кальция, натрия и калия. Причина их накопления станет понятной, если вспомнить, что население и в древности, и в настоящее время предпочитало селиться вдоль ирригационных каналов. Человек в своих селениях сосредоточивал пищу, топливо, домашних животных. На местах поселений оставались всякие отбросы и продукты его жизнедеятельности. Разрушаясь, они сильно обогащали почву солями, в состав которых входят биогенные элементы: азот, сера, калий, кальций, фосфор, магний и сопутствующая им поваренная соль (NaCl). Поэтому нельзя не присоединиться к ранее высказанным соображениям о большой роли человека в накоплении селитры на развалинах древних городов.

Нельзя недооценивать и роль капиллярных вод, переносящих соли и способствующих их аккумуляции в буграх, на руинах глинобитных стен и других местах. Местное население ранее очень широко использовало такие землистые массы, обогащенные солями, для удобрения полей. В природных условиях такой способ миграции солей исключен.

Характерная особенность всех вторичных солончаков — высокое накопление кальциевых солей. Увеличение содержания кальция в слабозасоленных древнеорошаемых почвах происходит в результате накопления $CaCO_3$, при возрастании засоления — $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, а в сильнозасоленных почвах — и $CaCl_2$.

Хлоридно-кальциевые солончаки нередко располагаются вдоль древних каналов, где наиболее интенсивно протекала жизнь человека. С мест поселений землистые массы вносили на поля в качестве удобрений, и таким образом почвы обогащались кальцием. Богатство древнеорошаемых почв кальцием — одна из причин их высокого плодородия, хорошей микроагрегированности и благоприятных водно-физических свойств.

Вторичные солончаки на древнеорошаемых территориях поддаются мелиорациям с разной трудностью в зависимости от гидрогеолого-литологических условий. Очень легко осваиваются солончаки на приканальных буграх. Планировки и промывки при свободном оттоке промывных вод не создают затруднений. Межканальные солончаки требуют проведения более тяжелых промывок, что возможно только на фоне искусственного дренажа.

Солончаки на агроирригационных отложениях и при обеспеченном дренаже промываются без особых затруднений. В этом отношении практикой накоплен большой опыт: освоены большие площади вторичных солончаков Вахшской, Ферганской, Зеравшанской долины, Хорезмского оазиса, что стало возможным только после сооружения систематического дренажа.

Заканчивая главу о трудномелиорируемых почвах, необходимо отметить, что большая их часть находится среди массивов нового орошения на крупнейших ирригационных каналах, сооружаемых в настоящее время. Их широкое распространение ставит ряд новых проблем по мелиорации и освоению.

Это группа качественно разнородных почв по своему происхождению, составу и мелиоративным свойствам. Отличие трудномелиорируемых почв от ранее освоенных и ныне орошаемых на аллювиальных, древнеирригационных и лессовых отложениях не количественного, а качественного порядка, связанное с их особым составом и свойствами, определяет необходимость применения других мер мелиоративного воздействия. Поэтому накоп-

ленный опыт мелиорации и возделывания старооро-шаемых почв может быть использован с большой осторожностью и не на всех почвах.

Необходимо развивать поиски новых путей воздействия на неблагоприятные свойства трудномелиорируемых почв с тем, чтобы, изменяя их, приближать по своим свойствам к самым плодородным почвам на аллювиальных и лессовых отложениях. В ряде случаев это потребует большого времени, что должно быть предусмотрено проектами заранее.

Мелиоративные мероприятия должны решать конкретные задачи для конкретных почв и условий. К сожалению, это не всегда осознается инженерами, в чьих руках ныне находится проектирование и расчет мелиораций, а также их техническое осуществление. Назначение вышеприведенных описаний трудномелиорируемых почв по сравнению с описанием целинных и орошаемых почв на аллювиальных и лессовых отложениях — показать эти различия и предостеречь от шаблонных решений.

# МЕЛИОРАТИВНАЯ ОЦЕНКА И РЕГУЛИРОВАНИЕ СОЛЕВОГО РЕЖИМА ПРИ ОРОШЕНИИ

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ ПРИ ПОЧВЕННО-МЕЛИОРАТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Специальное изучение и картографирование засоленных почв выполняется почвоведами при мелиоративных изысканиях. При этом обычно изучают распределение солей в слое 2—5 м, что недостаточно для оценок мелиоративного состояния и прогнозов изменения засоления почв при мелиорациях. С учетом этого при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях приходится дополнять характеристики почв и грунтов зоны аэрации данными по засолению.

Все образцы почв и грунтов, взятые при гидрогеологических изысканиях, должны быть подвергнуты анализу на засоление в лабораторных условиях. Сеть почвенных разрезов и скважин гидрогеологического опробования при большом разнообразии условий засоления должна быть размещена так, чтобы были охарактеризованы все геоморфологические, почвенно-литологические и ирригационно-хозяйственные элементы ландшафта. При этом по состоянию растительности и другим визуально определяемым признакам выделяются почвы преобладающей, наименьшей и наибольшей степени засоления для данного контура с примерным указанием площадей распространения каждого и бурением дополнительных скважин по этим позициям. Затем в лабораторно-камеральных условиях полевые характеристики на основе данных анализа уточняются.

Для солевых характеристик почв принято отбирать образцы без пропусков — сплошной колонкой, т. е. средние образцы из каждого литологического или почвенного слоя с интервалами для верхнего метра не более чем через 25 см, а для более глубоких слоев — 50 см. Образец, взятый из характеризуемого слоя, тщательно перемешивают и отбирают из него среднюю пробу (не

менее 0,5 кг). Собранные образцы поступают для химического, спектрального и электрометрического, механического и других видов анализа.

Результаты анализа почв на засоление зависят от метода подготовки образца, метода извлечения солей из почв и методов определения составляющих этих солей. Конечным результатом анализа должно быть определение количества и состава легкорастворимых солей: хлоридов, сульфатов, карбонатов и нитратов, а также натрия, магния, кальция и калия. Кроме того, важно определять состав поглощенных оснований и содержание средне- и труднорастворимых солей кальция — гипса и карбонатов. В анализ могут поступать средние пробы по горизонту или слою и пробы характерных включений почв и слоев зоны аэрации. Образец перед анализом измельчают и пропускают через сито с отверстиями в 1 мм. Методы анализов описаны в специальных методических руководствах (Агрохимические методы исследования почв и др.).

Для извлечения легкорастворимых солей используется водная вытяжка, а труднорастворимых солей — солевые и кислотные вытяжки. Для определения $CO_2$ карбонатов используется также газометрический анализ.

Водные вытяжки производятся при различном отношении вода : почва, в почвенных изысканиях принято это отношение 5 : 1, в геологических и гидрогеологических изысканиях нередко используются более широкие отношения — 10 : 1 и 20 : 1.

Водные вытяжки извлекают соли, находящиеся в почве в жидкой и частично в твердой фазе. При этом чем шире отношение вода : почва, тем больше веществ извлекается на единицу массы почвы в результате растворения труднорастворимых солей твердой фазы и вытеснения поглощенных оснований, вступающих в обменные реакции с катионами в водных растворах.

Для рассмотрения вопросов динамики и превращения солей выделяют растворы при определенной влажности почв и грунтов. Более полная картина могла бы быть получена при выделении растворов при всех влажностях почв, которые наблюдаются в природе, и при тех же газово-биологических равновесиях, характерных для данных экологических условий. Но такие данные получить трудно или почти невозможно при современной технике исследований, поэтому приходится отбирать

часть раствора из почвы при высоком насыщении влагой или выделять растворы в искусственных условиях и принимать данные анализов как условные показатели. Важно знать, в чем истинность и условность каждого показателя и какие возможны отклонения от этих величин в естественных условиях.

В оценке результатов анализа нельзя отдавать предпочтение или придавать абсолютное значение какому-либо одному методу. Результаты каждого из них условны. Надо понимать, в чем их условность, и с учетом этого подбирать наиболее подходящий метод для решения поставленных задач.

Большая динамичность солевого процесса в почве в зависимости от влажности, постоянного обмена с подпочвенными слоями и атмосферой, а также растениями требует при рассмотрении вопросов, касающихся прогноза изменения засоления, принимать во внимание результаты анализа солей, извлеченных разными методами.

При солевых определениях анализ водной вытяжки (вода : почва 5 : 1) обязателен, его результаты служат эталоном при сравнении с данными анализа солей другими методами.

Используя результаты водных вытяжек при отношении 5 : 1, следует помнить, что при этом оценивается сумма всех легкорастворимых солей, которые способны перейти в раствор при норме воды в расчете на метровый слой почвы около 75 000 м³/га, или 7500 мм. На практике промывные нормы-нетто обычно никогда не превышают 15—20 тыс. м³/га. Таким образом, водная вытяжка при таком соотношении твердой и жидкой фазы характеризует возможный предел извлечения солей из почвы при крайне обильных промывках, при идеальных условиях контакта твердой и жидкой фазы. На практике такие промывки могут быть осуществлены в течение ряда лет. Водная вытяжка растворяет все легкорастворимые соли, часть труднорастворимых и часть солей, образовавшихся в результате обмена катионов труднорастворимых солей с натрием и магнием поглощающего комплекса.

При более узком отношении вода : почва, равном от 0,3 до 1 : 1, когда экстракт извлекается из почвы при влажности в состоянии пасты по методу, принятому в американском почвоведении (методом центрифугирова-

ния), в составе почвы в расчете на сухое вещество определяется меньше сульфата и карбоната кальция и, как это ни кажется странным на первый взгляд, несколько больше хлоридов, чем в вытяжке при отношении 5 : 1. Это превышение хлор-иона достигает 10—17%. Причина несоответствия в расчетах состоит в том, что не учитывается нерастворяющий объем жидкости и неоднородность концентрации ионов в растворе. Доля нерастворяющего объема воды от общего при более узких соотношениях вода : почва больше, и раствор, стекающий с первыми порциями из почвы, концентрированнее. При широких отношениях вода : почва доля нерастворяющего в общем объеме вытяжки незначительна и практического значения не имеет. Например, нерастворяющий объем для суглинистой почвы равен примерно 3%, что от общего объема влаги при 10—30% влажности составит 30 и 10%, а от объема водной вытяжки (при 500% влажности) — менее 1%. Влияние так называемой отрицательной адсорбции хлоридов больше проявляется также при более узком отношении. Это явление в большей мере будет иметь значение при анализе почвенных растворов. Это надо принимать во внимание при балансе солей.

Как уже отмечалось, в составе извлеченных водой веществ доля средне- и труднорастворимых солей с увеличением отношения вода : почва возрастает. Так, при отношении 20 : 1 сухой остаток только за счет растворения гипса и карбонатов может составить 5% массы почвы, с уменьшением отношения до 5 : 1 — 1,25%, до 0,5 : 1 — 0,125% и до 0,2 : 1 — 0,05%. Для хлоридов за счет нерастворяющего объема и отрицательной адсорбции, наоборот, при расчете на сухую почву с уменьшением доли воды, извлекающей соли, количество Cl как бы увеличивается. Величина условной прибавки в расчете на сухую массу тяжелых почв достигает 15—20%, если раствор вытеснять при влажности наименьшей влагоемкости (НВ или ППВ).

Почвенные растворы можно извлекать практически во всем диапазоне влажностей от полной влагоемкости — от предельной полевой (НВ) и до влажности коэффициента завядания. Понятно, что концентрация солей в почвенном растворе будет тем выше, чем меньше влаги в почве, при пересчете на сухую почву также будут различные показатели с тенденцией уменьшения об-

щего содержания солей на единицу массы почвы при одновременном повышении хлоридности раствора с уменьшением влажности почвы.

Извлечение растворов при влажности, равной полной полевой влагоемкости, дает возможность определить концентрацию почвенных растворов в начале промывок и прогнозировать, исходя из расчета, дальнейший ход рассоления почв. Часть этого раствора гравитационно-подвижна.

Наиболее характерным и постоянным для полевых условий орошаемых почв является состав растворов при предельной полевой влагоемкости (наименьшей влагоемкости), т. е. точке, когда вся влага удерживается почвой и гравитационно практически малоподвижна (но обладает капиллярной подвижностью). Наибольший практический интерес представляет концентрация почвенных растворов при влажности на уровне величины наименьшей влагоемкости (НВ), которая несколько уменьшается при поливе и повышается с прекращением полива в результате расхода воды на испарение и транспирацию. Это состояние, когда почва достигает крайнего предела своего молекулярно-капиллярного насыщения, за пределами этой величины вода переходит в гравитационно-подвижное состояние.

Можно выделять растворы и при меньшей влажности почв, чем НВ, состав растворов будет более изменчив в зависимости от содержания влаги и температурно-газового и биохимического режима почвы. Оценивая методы извлечения солей из почв при всех ныне принятых диапазонах соотношения вода : почва — от самых широких до узких — в почвенных растворах при самых низких влажностях почв в полевых условиях, следует еще раз подчеркнуть большую их динамичность как в расчете на единицу объема жидкости, так и на единицу массы сухой почвы.

При более широких соотношениях вода : почва процедура извлечения солей очень упрощается, для почвенных растворов она сложна, трудоемка и требует высокого аналитического мастерства от исполнителя — химика. Поэтому для массового анализа можно ограничиваться анализом водной вытяжки при соотношении 5 : 1. Почвенные растворы выделяются и анализируются аналитиками высокой квалификации для проработки специальных вопросов. Из принятых в настоящее время ме-

тодов наиболее широко используется метод вытеснения почвенных растворов спиртом в модификации Н. А. Комаровой, и метод вытеснения на прессе П. А. Крюкова. Первый метод дает возможность получать растворы при более низких влажностях, чем на прессе механического выдавливания влаги из образца. Наилучшим, обеспечивающим сбор раствора с наименьшей метаморфизацией солевого состава в процессе самого анализа является метод выделения растворов инертным газом — азотом на прессе Ричардса. Но этот метод у нас мало распространен из-за отсутствия самих прессов и соответствующих дополнительных приспособлений.

Следует помнить, что ни одним из существующих методов нельзя извлечь весь почвенный раствор. Поэтому, по существу, анализируются наиболее подвижные части раствора, а пересчеты содержания солей на единицу массы почвы делают, исходя из общего содержания влаги в почве, и в этом уже заложена ошибка.

Обработка аналитических данных имеет целью определить содержание солей, а также их распределение и качественный состав в зоне аэрации или в отдельных ее слоях, дать характеристику степени засоления почв и грунтов с учетом пригодности их для орошения и мелиорации. Что же касается определения содержания солей в зоне в целом или отдельных ее слоях, то эта задача легко разрешима с использованием различных методов статистической обработки, если известен закон распределения солей и достаточно много точек опробования. Практически такие расчеты можно проводить для районов после предварительной группировки данных и районирования территории.

При полном анализе водных вытяжек или почвенных растворов следует определять следующие ионы: Cl, $SO_4$, $HCO_3$, $CO_3$, $NO_3$, K, Na, Mg, Ca. В последнее время получают распространение экспресс-методы. Сокращенный состав водных вытяжек, когда определяется Cl, Na, $HCO_3$ — общая и сумма солей в мг·экв. на солемере, наиболее целесообразен при неполном анализе водной вытяжки. При таком наборе можно расчетом определить количество сульфата натрия по разности Na—Cl, определить сумму Ca и Mg (сумма солей по солемеру за вычетом содержания натрия в мг·экв.), а затем расчетом определить содержание всех сульфатов (сумма солей по солемеру за вычетом суммы хлор-иона и общей

щелочности в мг·экв.). Трудоемкость полевых работ, сбор образцов и подготовки их к анализу больше, чем трудоемкость лабораторного анализа с использованием современных методов определения ионов пламенно-фотометрическим, атомно-адсорбционными, трилонометрическими и потенциометрическими методами. Доля стоимости собственно лабораторного анализа во всем цикле исследования очень небольшая даже при производстве полного анализа водной вытяжки. Поэтому при возможности лучше всегда делать полный анализ водной вытяжки.

Вопрос оценки почв по засолению сложный, причина этого не только в изменчивости распределения солей во времени и пространстве, но и в способности солей или их составляющих переходить из одной фазы почвы в другую и тем самым менять степень токсичности для растений и податливости для мелиоративного воздействия. Для разных целей должны быть разные методы оценки. Например, для оценки актуального засоления важно знать концентрацию почвенного раствора в корнеобитаемом слое в среднем по объему и во всем диапазоне ее распределения в пространстве и влажностях почв от предельной полевой влагоемкости до предельно допустимого иссушения перед поливом.

Концентрация солей в почвенном растворе определяет степень доступности воды для растения, в то же время отдельные ионы проявляют специфическое воздействие на растения в силу своей способности накапливаться и влиять на характер поступления в растение питательных элементов и на физиологические процессы. Количественная характеристика специфического влияния мало изучена. Более или менее известно влияние концентрации солей по суммарному воздействию на растение, установленное в водных и песчаных культурах, а также эмпирически определенное для полевых условий. Установлено, что изоосмотические концентрации разных солей влияют примерно одинаково на одни и те же растения (Федоровский, Бернштейн и др.).

Солеустойчивость разных культур различна, кроме того, она изменяется для одного и того же растения в зависимости от фазы развития и от состава ионов в растворе. При наличии в растворе разных ионов устойчивость растений к суммарной концентрации оказывается несколько выше.

Определение солеустойчивости растений в полевых условиях осложняется динамичностью засоления почв и способностью солей к локализации в небольшом объеме в местах иссушения почвы (расхода воды на испарение и транспирацию).

Имеющиеся данные показывают, что к концу вегетационного периода распределение солей в корнеобитаемом слое орошаемых почв имеет логнормальный характер с модой, смещенной в область низких концентраций, и среднеарифметической величиной на уровне 65—75% интегральной кривой обеспеченности. Это показывает, что $^3/_4$ общего количества солей сосредоточено в $^1/_3$ объема корневой зоны. Эта часть объема либо ограниченно используется растением, либо исключается из использования, т. е. в засоленных почвах мощность активного слоя, питающего растение, как бы уменьшается. Понятно, что это влияет на величину урожая наряду с другими отрицательными сторонами влияния засоления.

Часть солей из раствора переходит в твердую фазу, и их влияние на растение временно как бы исключается, часть компонентов переходит в состав поглощенных оснований. Концентрация солей почвенного раствора изменяется также в зависимости от парциального давления $CO_2$ в почвенном воздухе, состава солей и других факторов. Поэтому при одном и том же среднем содержании солей, определенном по данным водной вытяжки, состояние растений может варьировать в широком диапазоне (Минашина, 1970; Рыжов, 1970).

Для текущих мелиораций важно определить распределение солей по глубинам в зоне аэрации и в горизонтальном плане, а также их валовые запасы для корнеобитаемой зоны (60 см) и в слое 0—2 (3 м) и глубже до уровня грунтовых вод. Запасы можно вычислять в целом на объем почвы корневой зоны, метрового или другой мощности слоя на единицу площади, показывая их в тоннах на гектар или в среднем в % от массы почвы того или иного слоя.

## БАЛАНС СОЛЕЙ В МЕЛИОРИРУЕМЫХ ПОЧВАХ

При расчетах норм воды для промывки почв в числе основных параметров необходимо знать содержание солей. Для этого используется метод водной вытяжки (вода : почва = 5 : 1). По сравнению с другими методами

определения содержания солей в почвах он обладает рядом преимуществ. В их числе простота извлечения солей и хорошая воспроизводимость анализа, основанного на классических, химических и спектральных методах анализа разных компонентов. Этот метод, несмотря на многочисленные критические замечания, остается основным в практике оценки засоления и мелиоративного контроля засоленных почв.

Среди замечаний имеются и обоснованные, но многие из них относятся собственно не к методу водной вытяжки, а к методу сбора и подготовки образцов к анализу, а иногда и к интерпретации полученных данных. Часть критики в адрес метода водных вытяжек основана просто на недоразумениях из-за методических ошибок. Все это сеяло недоверие к результатам, полученным методом водных вытяжек. Поскольку поток как правильных, так и необоснованных замечаний не иссякает и имеет даже тенденцию к усилению, появилась необходимость вернуться к обсуждению этого вопроса.

Прежде всего следует отклонить те замечания, которые возникают из-за пестроты распределения солей в пространстве (микропространстве). К настоящему времени накоплено достаточно много данных, показывающих, что соли в почве распределены очень неравномерно, локализуясь по поверхности структурных отдельностей почв и крупным порам или образуя корочки и гнезда при сильном засолении. Даже среди слабозасоленных почв имеются более засоленные макро- и микропятна, и, наоборот, среди солончаков встречаются рассоленные пятна. При количественном анализе содержания солей приходится оперировать не единичными показателями и даже не средними величинами, а распределениями (полиномами). Поэтому заключения о неполном извлечении солей или неточности метода водных вытяжек, сделанные на основе анализа разных образцов, хотя бы взятых рядом, просто не должны приниматься в расчет. Такие ошибки допускали и продолжают допускать, когда содержание солей в монолитах для изучения процесса рассоления определяют по образцам, взятым рядом с монолитом. Заключения о воспроизводимости и полноте извлечения солей разными методами можно делать на основе анализа одних и тех же тщательно перемешанных образцов с соблюдением всех мер по взятию средних проб или на основе статистического

анализа большого количества проб (обычно не менее 25).

Разрабатываемые физико-математические модели описания движения солей в почве требуют определения исходного содержания солей в составе почвенных растворов. Водная вытяжка показывает суммарное содержание солей в почве в расчете на сухое вещество. В сумму компонентов веществ, извлекаемых водной вытяжкой, попадают как соли, находящиеся в составе почвенных растворов, так и соли, поступающие в результате растворения твердой фазы почвы и обменных реакций с почвенным поглощающим комплексом. Методы выделения почвенных растворов и их анализ, который, как думают мелиораторы, дает более точные для их расчетов показатели, очень трудоемки и требуют высокой квалификации аналитика. Это ограничивает возможности использования метода для практических целей. Но если и будут найдены быстрые новые методы определения содержания ионов в почвенном растворе без его выделения из почвы, то и тогда это не решит той задачи, которая ставится мелиораторами для получения стабильных параметров исходного засоления почв, пригодных для балансовых подсчетов засоления при промывках и других мелиорациях.

Таблица 27. **Данные анализа водных вытяжек из образцов оазисной луговой орошаемой почвы**

| Глубина, см | Сумма солей | Сумма токсических солей | Щелочность | | $NO_3$ | Cl | $SO_4$ | Ca | Mg | Na | K |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $CO_3$ | общая $HCO_3$ | | | | | | | |
| | % на сухую почву | | мг-экв. на 100 г почвы | | | | | | | | |
| 0—25 | 0,15 | 0,095 | Нет | 0,58 | Нет | 0,67 | 0,88 | 0,65 | 0,40 | 1,01 | 0,15 |
| 25—50 | 0,27 | 0,186 | » | 0,47 | » | 1,42 | 1,53 | 1,04 | 0,84 | 1,40 | 0,14 |
| 50—75 | 0,30 | 0,230 | » | 0,44 | » | 1,62 | 2,53 | 1,01 | 0,88 | 2,23 | 0,10 |
| 75—100 | 0,22 | 0,163 | » | 0,44 | » | 1,14 | 1,78 | 0,78 | 0,62 | 1,94 | 0,08 |
| 100—150 | 0,17 | 0,123 | » | 0,47 | » | 0,75 | 1,36 | 0,56 | 0,46 | 1,51 | 0,07 |
| 150—200 | 0,16 | 0,120 | » | 0,49 | » | 0,65 | 1,29 | 0,53 | 0,44 | 1,47 | 0,07 |
| 200—250 | 0,14 | 0,110 | » | 0,47 | » | 0,59 | 0,97 | 0,47 | 0,35 | 1,12 | 0,07 |

Почвенные растворы для анализа баланса солей менее пригодны, чем водные вытяжки, прежде всего потому, что не все соли они включают, к тому же состав и концентрация ионов — показатели динамичные. Это можно показать на следующих примерах. В таблице 27

представлены данные анализа водной вытяжки из образцов оазисной луговой орошаемой почвы, которую можно отнести к слабозасоленной. В таблице 28 показаны данные анализа почвенных растворов, полученные из тех же образцов (параллельно отобранные пробы из тщательно перемешанной почвы). Для получения почвенных растворов почву за сутки увлажняли оросительной водой до указанной влажности, набивали в трубку, раствор вытесняли спиртом.

Сравнение результатов анализов позволяет выявить особенности солевого состава растворов, собранных при разных величинах увлажнения. Прежде всего обращает на себя внимание тот факт, что в водной вытяжке не было обнаружено свободных ионов $CO_3$ и $NO_3$, в почвенных растворах они появились в заметном количестве, причем образование $CO_3$ нельзя отнести за счет растворения карбонатов кальция и магния (по данным анализа, почва тонкопылевато-суглинистая, содержание $CaCO_3$ около 16%, $MgCO_3$ 1,5—2%), так как в водной вытяжке с большей способностью растворения из-за более широкого соотношения воды и почвы не обнаружено этого аниона.

То же самое касается нитратов. В водной вытяжке и в почве при высокой влажности в составе растворов нитратов не обнаруживается. По имеющимся у нас данным, больше всего нитратов обнаруживается в почвенных растворах при влажности от 10 до 15% массы почвы. При влажности 20% и выше они исчезают, при влажности ниже 10% обнаруживаются в незначительном количестве. Это дает основание считать появление нитратов результатом нитрификационной деятельности микроорганизмов, активность которых зависит от влажности почвы. При высокой влажности в анаэробных условиях их деятельность подавляется и происходит денитрификация. Понятно, что появление нитратов, так же как и их исчезновение, изменяет равновесие других компонентов почвенных растворов, что автоматически влияет на состав поглощенных катионов.

То же самое касается сульфат-иона, как было показано ранее (Минашина, Гаврилова, 1975). Поведение сульфат-иона в почвенном растворе в зависимости от влажности почвы аналогично поведению нитратов. С повышением влажности почвы происходит биохимическое превращение сульфат-иона в восстановленные формы

Таблица 28. Данные анализа почвенных растворов из образцов оазисной луговой орошаемой почвы

| Глубина, см | Сумма солей | Сумма токсичных солей | Щелочность | | $NO_3$ | Cl | $SO_4$ | Ca | Mg | Na | K |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $CO_3$ | $HCO_3$ | | | | | | | |
| | г/л | | мг-экв./л | | | | | | | | |
| **Влажность почвы 10%** | | | | | | | | | | | |
| 0—25 | 12,19 | 8,27 | 1,0 | 3,5 | 9,0 | 113,7 | 66,7 | 55,7 | 50,8 | 87,0 | 3,6 |
| 25—50 | 17,30 | 12,78 | 2,0 | 7,0 | 1,9 | 205,8 | 76,6 | 58,2 | 80,4 | 156,5 | 3,1 |
| 50—75 | 19,10 | 15,91 | 2,0 | 6,0 | 1,9 | 211,7 | 97,6 | 46,0 | 84,3 | 182,6 | 2,0 |
| 75—100 | 15,00 | 11,67 | 2,0 | 6,0 | 1,1 | 152,9 | 89,0 | 44,6 | 69,3 | 130,4 | 1,6 |
| 100—150 | 11,10 | 7,92 | 1,0 | 4,5 | 0,6 | 103,9 | 75,3 | 39,6 | 47,0 | 91,3 | 1,4 |
| 150—200 | 11,40 | 8,22 | 1,5 | 4,5 | 1,0 | 106,8 | 76,6 | 42,1 | 47,0 | 91,3 | 1,4 |
| 200—250 | 11,60 | 9,03 | 1,0 | 4,0 | 2,3 | 93,0 | 77,0 | 37,1 | 51,0 | 82,2 | 1,6 |
| **Влажность почвы 15%** | | | | | | | | | | | |
| 0—25 | 5,93 | 3,93 | 3,2 | 6,9 | 5,0 | 49,1 | 34,0 | 28,1 | 26,8 | 29,9 | 2,5 |
| 25—50 | 10,97 | 8,34 | 2,8 | 5,8 | 9,6 | 119,0 | 50,1 | 37,5 | 48,3 | 87,3 | 2,3 |
| 50—75 | 12,72 | 10,59 | 4,3 | 5,9 | 7,0 | 130,5 | 68,2 | 30,2 | 52,5 | 119,2 | 1,5 |
| 75—100 | 10,41 | 8,11 | 0,8 | 4,8 | 5,9 | 97,5 | 62,3 | 32,2 | 40,1 | 89,0 | 1,3 |
| 100—150 | 7,22 | 5,22 | 0,8 | 3,4 | 4,1 | 50,5 | 53,7 | 28,7 | 36,0 | 50,4 | 1,0 |
| 150—200 | 7,52 | 5,41 | 0,7 | 2,4 | 5,3 | 54,0 | 59,5 | 30,7 | 31,4 | 53,6 | 1,2 |
| 200—250 | 7,03 | 4,89 | 0,6 | 2,6 | 7,0 | 47,5 | 55,0 | 31,0 | 25,2 | 48,2 | 1,3 |
| **Влажность почвы 20%** | | | | | | | | | | | |
| 0—25 | 3,80 | 2,39 | 0,9 | 7,8 | Нет | 36,0 | 17,3 | 19,3 | 14,3 | 25,8 | 2,1 |
| 25—50 | 7,84 | 6,03 | 1,3 | 5,7 | » | 88,2 | 41,2 | 25,6 | 30,3 | 61,8 | 2,0 |
| 50—75 | 10,28 | 8,31 | 1,8 | 5,5 | » | 93,6 | 71,6 | 28,0 | 38,2 | 92,5 | 1,6 |
| 75—100 | 7,38 | 5,78 | 1,7 | 5,5 | » | 60,1 | 50,7 | 22,5 | 31,5 | 69,0 | 1,5 |
| 150—200 | 6,35 | 4,45 | 0,9 | 3,4 | » | 41,4 | 57,0 | 27,4 | 24,0 | 48,0 | 0,3 |
| 200—250 | 4,68 | 3,25 | 0,8 | 6,1 | » | 32,7 | 36,4 | 20,0 | 18,0 | 34,9 | 0,1 |

вплоть до образования сульфидов и свободной серы. С иссушением почвы и притоком кислорода возможно обратное их окисление до серной кислоты, которая активно воздействует на труднорастворимые соли. Однако в отличие от денитрификации сульфат-редукция происходит медленнее. Эти зависимости установлены в условиях лабораторного опыта. В полевых условиях могут быть отклонения в ту или иную сторону, что предстоит изучить.

Факты биохимического превращения серы и азота в почве широко известны и много раз подтверждались экспериментально многими почвоведами, но они не дали необходимой оценки с общемелиоративных позиций. Эти реакции, по-видимому, играют не менее, а скорее всего более существенную роль в почвенных процессах, чем реакции обмена катионов, которые легче учесть балансовым методом. Следует отметить, что при промывках солончаков, у которых в исходном состоянии содержались нитраты, последние обнаруживаются только в первых порциях нисходящих растворов вместе с хлоридами, а затем исчезают. После того как в процессе промывок содержание солей в почвенном растворе уменьшается примерно до 1 г/л, в их составе снова появляются нитраты, по-видимому, вторично образованные в результате окисления восстановленных форм азота и разрушения азотсодержащих органических веществ. Понятно, что и денитрификация, и нитрификация сопровождаются изменением в составе катионов почвенного раствора.

Почва, обладая свойством буферности, т. е. способностью противостоять внешним воздействиям, регулирует концентрацию почвенного раствора. При притоке в почвенный слой солей они частью переводятся в неактивную форму из-за обменных реакций и перехода в твердую фазу. И наоборот, при оттоке солей раствор восстанавливает свою концентрацию за счет резервов твердой фазы. Механизм этого явления чрезвычайно сложный и полностью не изучен. В этих процессах принимают участие физико-химические, химические, биохимические реакции.

В меньшей мере или практически не подвержен изменению хлор-ион, который оказывается наиболее подвижным среди других анионов. Легко перераспределяясь с наиболее подвижной частью почвенных растворов,

хлориды обладают наибольшей способностью к локализации, образуя корочки на поверхности гребней и концентрируясь в местах преобладания восходящих токов, поэтому и легко удаляются при промывках. Локализация также способствует некоторому снижению концентрации солей в большей части объема корнеобитаемого слоя почвы и может рассматриваться как одна из форм буферности почв.

В таблицах 29 и 30 показано изменение содержания солей при промывке хлоридно-сульфатного солончака. Опыт проводился в лабораторных условиях. Образцы почв высушивали, каждый образец тщательно перемешивали, растирали и просеивали через сито с отверстиями в 1 мм, затем отбирали средние пробы на водную вытяжку и для промывки. Пробу (1 кг), предназначенную для промывки, в течение $1^1/_2$ суток увлажняли дистиллированной водой до 17% влажности и загружали в трубки диаметром 3 см. При такой влажности почва легко при постукивании укладывается в трубке с объемным весом, свойственным ей в природном залегании. В данном случае он был равен 1,5 г/см$^3$, контролировали его по мере заполнения трубки малыми порциями. Никаких посторонних веществ (песка) в почву для облегчения фильтрации не вносили ни в этих опытах, ни в вышеизложенных, где изучали почвенные растворы. Почва пылевато-суглинистая, перед перенесением в трубку ножом ее превращали в массу из агрегатов размером 1—2 мм.

Промывку почв вели дистиллированной водой до достижения концентрации солей в промывных водах 1 г/л и меньше. Промывные воды собирали порциями по 30 мл, каждую порцию анализировали отдельно. После завершения промывок почву выгружали из трубок, высушивали и подвергали повторному анализу методом водной вытяжки. Если полученные результаты анализировать с точки зрения баланса солей, то, как видно из таблиц 29, 30, существенных различий по сумме солей, извлеченных водными вытяжками (до и после промывки) и промывными водами, не обнаруживается. Нет различий по хлоридам и калию. Нитраты при промывке частично исчезли, в промывных водах их количество составляет примерно 10% от исходного, определенного в водной вытяжке для верхних двух горизонтов. В образцах из нижних горизонтов почвы, где в исходном со-

Таблица 29. **Состав и содержание солей, извлеченных из образцов солончака водной вытяжкой и в промывных водах**

| Глубина, см | Количество воды, мл на 100 г | $HCO_3$ | $NO_3$ | Cl | $SO_4$ | Сумма анионов | Ca | Mg | Na | K | Сумма катионов | Сумма солей, г/л |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | мг-экв. на 100 г почвы | | | | | | | | | | |
| 0—25 | 500 | 0,57 * | 0,63 | 19,86 | 25,39 | 46,45 | 10,25 | 10,14 | 25,00 | 0,53 | 45,92 | 2,911 |
| | 238 | 2,18 | 0,07 | 19,82 | 25,55 | 47,62 | 4,74 | 15,42 | 24,33 | 0,38 | 44,87 | 2,912 |
| 25—50 | 500 | 0,41 | 0,12 | 7,76 | 11,44 | 19,73 | 4,02 | 3,23 | 11,74 | 0,23 | 19,22 | 1,251 |
| | 120 | 0,56 | 0,01 | 7,65 | 12,07 | 20,29 | 2,15 | 4,54 | 13,14 | 0,14 | 19,97 | 1,286 |
| 50—100 | 500 | 0,36 | 0,02 | 6,09 | 12,42 | 18,89 | 4,95 | 3,23 | 10,22 | 0,18 | 18,58 | 1,212 |
| | 169 | 0,31 | 0,02 | 6,14 | 11,99 | 18,46 | 2,55 | 4,32 | 11,33 | 0,12 | 18,32 | 1,180 |
| 150—200 | 500 | 0,31 | 0,02 | 4,65 | 8,80 | 13,78 | 3,19 | 2,35 | 7,83 | 0,13 | 13,50 | 0,882 |
| | 168 | 0,28 | 0,01 | 4,61 | 10,71 | 15,61 | 2,74 | 3,86 | 8,88 | 0,08 | 15,56 | 1,001 |
| | | Остаточное содержание солей в почве после промывки, по данным повторной водной вытяжки | | | | | | | | | | |
| 0—25 | | 0,66 | 0,02 | 0,05 | 0,30 | 1,03 | 0,76 | 0,31 | 0,08 | 0,17 | 1,32 | 0,085 |
| 25—50 | | 0,57 | 0,03 | 0,03 | 0,09 | 0,72 | 0,29 | 0,28 | 0,12 | 0,06 | 0,75 | 0,056 |
| 50—100 | | 0,51 | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,63 | 0,29 | 0,23 | 0,09 | 0,05 | 0,66 | 0,050 |
| 150—200 | | 0,45 | 0,04 | 0,03 | 0,05 | 0,57 | 0,32 | 0,23 | 0,08 | 0,04 | 0,67 | 0,045 |

* В числителе — исходное содержание солей в почве по данным водных вытяжек, в знаменателе — вынесено солей с промывной водой.

стоянии содержание нитратов было низким, заметных изменений не произошло. В промывных водах обнаружено большее содержание бикарбонатов, чем в водной вытяжке, несмотря на то что на промывку израсходовано воды в 2—4 раза меньше. Особенно большая разница получилась для верхнего гумусового горизонта. Этот результат оказался неожиданным. Здесь возможно влияние на растворение карбонатов более концентрированных растворов солей, и ,может быть, в процессе промывок углекислота продуцировалась в результате разрушения органического вещества почвы, что также способствовало растворению карбонатов. Насыщение промывных вод бикарбонатами в среднем было выше в 3—4 раза, чем в водной вытяжке.

Таблица 30. **Баланс солей до и после промывки почвы** *

| Глубина, см | $HCO_3$ | $NO_3$ | Cl | $SO_4$ | Сумма анионов | Ca | Mg | Na | K | Сумма катионов |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | мг-экв. на 100 г почвы | | | | | | | | | |
| 0—25 | −2,27 | +0,54 | −0,01 | −0,46 | −2,20 | +4,75 | −5,59 | +0,59 | −0,02 | −0,27 |
| 25—50 | −0,72 | +0,03 | +0,08 | −0,72 | −1,28 | +1,58 | −1,59 | −1,52 | +0,03 | −1,50 |
| 50—100 | −0,46 | −0,05 | 0,08 | +0,39 | −0,20 | +2,11 | −1,32 | −1,20 | +0,01 | −0,40 |
| 150—200 | −0,42 | +0,03 | +0,01 | −1,96 | −2,40 | +0,13 | −1,74 | −1,13 | +0,01 | −2,73 |

* Данные водной вытяжки из исходно засоленной почвы плюс повторной водной вытяжки из промытой почвы минус количество ионов, вынесенных при промывке.

Что касается сульфат-иона, то существенных различий в содержании его в промывных водах и водной вытяжке для верхних горизонтов не обнаружено, полученная разность меньше ошибки анализа; для горизонта же 150—200 см в промывных водах содержание сульфат-иона на 19% выше, чем в водной вытяжке. Почва в этом горизонте не содержала гипса в количестве, превышающем его растворимость в водной вытяжке. Возможно, в почве были какие-то другие труднорастворимые формы соединений серы, которые в процессе промывок превратились в сульфат-ион.

Разница в содержании натрия, извлеченного водной вытяжкой и промывными водами, меньше ошибки анализа (натрий определялся спектрально). Различий по сумме щелочноземельных оснований тоже нет, но в промывных водах оказалось меньше кальция и больше магния, чем в водных вытяжках, причем различия наибо-

лее значительны для верхних горизонтов. Является это результатом физико-химического обмена или других причин, не выяснено.

Все вышеизложенное дает основание сделать вывод, что водная вытяжка полностью извлекает все токсичные соли. Количество солей, определяемое водной вытяжкой при отношении вода : почва = 5 : 1, может рассматриваться как предельно возможный объем выноса при промывке почвы.

Простота и возможность оперативного отбора проб для анализа водной вытяжки позволяет изучать распределение солей на любой площади в любое время. При наличии стационарных устройств для измерения засоления почв с помощью датчиков возможность маневрирования по площади ограничена, да и количество точек наблюдения из-за дороговизны устройств также ограничено. Применяемые устройства рассчитаны на изучение почвенного раствора, но по их показаниям судить о балансе солей, отражающем приток или отток солей в почвенные горизонты, значительно труднее, чем по водным вытяжкам.

При всех известных нам недостатках показания водной вытяжки более стабильны, чем показания содержания солей в почвенном растворе или пасте. Стабильность состава водной вытяжки определена методом подготовки почвы к анализу и стандартизацией условий выполнения анализа (высушивание почвы, растирание, просеивание, строгий отбор средней пробы, 3-минутное взбалтывание суспензий и т. д.). При строгом исполнении методики и тщательном отборе средней пробы результаты анализа хорошо воспроизводимы.

В наших испытаниях анализ водной вытяжки разных проб, взятых из одних и тех же образцов, проводился несколько раз в разные сезоны года. Обнаруженные различия касаются только содержания бикарбонатов щелочноземельных оснований. Во влажную погоду щелочность оказывалась более высокой. Плохую воспроизводимость данных анализа водной вытяжки у некоторых авторов мы объясняем отсутствием тщательности в отборе средних проб.

Таким образом, метод водной вытяжки остается основным для изучения баланса легкорастворимых солей.

В основе ныне используемых физико-математических моделей описания движения солей в почвах лежит пред-

ставление о почве как о пористой среде, инертной по отношению к движущимся в ней растворам солей и включающей в каком-то количестве соли в виде кристаллов.

Как следует из вышеизложенного материала, почва к таким образованиям не относится; как всякая живая и многофазная материя она обладает свойством активного и избирательного воздействия на состав и концентрацию солей, попадающих в нее или выщелачиваемых из ее горизонтов при промывках и орошении. Из этого следует, что поиски методов прогноза и описания почвенных процессов должны быть основаны на моделях, лучше отражающих их свойства, взаимные связи с другими экологическими условиями и возможности изменения свойств в самой почве, включая и такие показатели, как физические, водно-физические, физико-химические, биохимические и другие свойства.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЧВ ПО СТЕПЕНИ ЗАСОЛЕНИЯ

К настоящему времени имеется много предложений по классификации почв по засолению, выработанных в разное время для разных объектов. Эти классификации отражают, с одной стороны, региональные (провинциальные) особенности засоления, с другой — уровень научной разработанности теории о засолении почв и влиянии солей на сельскохозяйственные растения (Димо, Гедройц, Студенов, Лопато, Розанов, Иванова, Тюремнов, Федоров, Керзум, Ковда и др.).

Одна из важнейших вех в истории классификации — разделение засоленных почв на собственно засоленные и солонцовые, теоретически обоснованное К. К. Гедройцем. К солонцам и солонцовым отнесены почвы, содержащие натрий в поглощающем комплексе в виде обменного катиона и не содержащие солей в верхнем слое почвы в свободном состоянии. И. Н. Антиповым-Каратаевым была предложена классификация почв по степени солонцеватости: к солонцеватым отнесены почвы с содержанием в поглощающем комплексе обменного натрия в количестве более 5% от емкости, к сильносолонцеватым — 10—25%, более 25% — к солонцам.

Собственно засоленные почвы содержат легкорастворимые соли на той или иной глубине в количестве, спо-

собном повлиять на характер роста и развития сельскохозяйственных растений в настоящем или будущем. Состав и распределение солей в почвенном профиле в разных зонах страны различны, что отражает как естественноисторические, природные, так ирригационно-хозяйственные и другие условия. Лучше всего эта зависимость засоленных почв отражалась классификацией А. Н. Розанова, которая на разных этапах модифицировалась в своем количественном выражении (Кудрин, Розанов, 1935; Иванова, Розанов, 1939; Лобова, Розанов, 1951; Розанов, 1959).

В основу этой классификации положено определение глубины залегания солевого горизонта и количества солей в нем. Позже А. Н. Розанов стал учитывать тип химизма засоленных почв. Эта классификация хорошо отражает генетические особенности почвенного профиля и дает удовлетворительную основу для оценки производственного качества целинных и богарных земель.

Глубина залегания солевого горизонта, которая принимается в классификациях А. Н. Розанова как ведущий признак, характеризует глубину промывания почвы поверхностными водами (осадками, паводковыми и др.), а также степень участия грунтовых вод в подъеме и аккумуляции солей в почве. Состав солей свидетельствует о степени проточности почвенного раствора и зависит от состава солей в питающем источнике (грунтовых или почвенных водах, притекающих со стороны). Хлоридный состав свидетельствует об отсутствии проточности почвенного раствора, сульфатный — о периодическом чередовании аккумуляции (подтока) и частичного выноса наиболее подвижных солей. Сода является продуктом либо глубинных содообразующих процессов и вносится в почву с напорными водами, либо продуктом почвообразования в специфических условиях (наличие сульфатов, органики и анаэробных условий) как результат сульфат-редукции и т. д.

Для зоны орошаемого земледелия, где распределение солей в почвенном профиле подвержено сезонной динамике и зависит от режимов использования, были предложены другие классификации: для Средней Азии — Б. В. Федорова, для Кура-Араксинской низменности — С. Н. Тюремнова, для Таджикистана — О. А. Грабовской и П. А. Керзума. Эти классификации используются до настоящего времени, они были составлены на основе

опыта и интуиции ученых, наблюдавших состояние растений при разном количественном уровне засоления.

В основу этих классификаций для определения степени засоления положено количество солей, извлекаемое из почвы водной вытяжкой (5 : 1). Действующие в разных регионах, они отличаются разными границами (по плотному остатку) содержания солей для одной и той же степени засоления. Например, для почв Средней Азии сумма солей для одной и той же степени засоления принята значительно более высокой, чем для почв Кура-Араксинской низменности. Причиной этих расхождений является разный тип засоления почв по химизму. Кура-Араксинские почвы хлоридно-засоленные, а в бассейне Сырдарьи, где была выработана классификация Б. В. Федорова, преимущественно сульфатно-засоленные. По той и другой классификации степень засоления определяется по среднему содержанию солей (плотный остаток) в верхнем метровом слое, в зависимости от которого почвы разделены на незасоленные, слабо, средне, сильно и очень сильно засоленные.

Следующим этапом в развитии классификаций является осознание причин различий региональных классификаций и попытка свести их на единой научной основе. В. А. Ковдой, В. В. Егоровым, В. С. Муратовой и Б. П. Строгоновым (1960) (табл. 31) предложена новая классификация почв по степени засоления для разных типов почв, сгруппированных по составу анионов солей, извлекаемых водной вытяжкой.

Основным показателем для количественного разграничения почв принят плотный остаток водной вытяжки при отношении воды к почве 5 : 1, т. е. так же, как это делалось в прежних классификациях. Эта классификация предназначена для определения степени засоления для полевых культур. Масса плотного остатка от сухой почвы принимается в среднем для метрового слоя или для слоя 60 см; это свидетельствует о том, что авторы старались дать характеристику почв применительно к условиям орошения с очень динамичным распределением солей по глубине в разное время вегетационного сезона.

Анализируя эту классификацию с современных позиций, можно отметить, что она выдерживает строгую проверку, если оценивать степень засоления почв по сумме солей, извлеченных водной вытяжкой при отноше-

Таблица 31. **Классификация засоленных почв по степени и качеству засоления** (Ковда, Егоров, Муратова и Строгонов, 1960)

| Состояние с.-х. растений, характеризующихся средней солеустойчивостью | Степень засоления почвы | Тип солевого состава почвы | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | содовый | хлоридно-содовый и содово-хлоридный | сульфатно-содовый и содово-сульфатный | хлоридный | сульфатно-хлоридный | хлоридно-сульфатный | сульфатный |
| | | содержание водорастворимых солей (сумма солей или плотный остаток), % | | | | | | |
| | | в пределах 0—60 см | | | | в среднем в слое 0—100 см | | |
| Хороший рост и развитие (выпадов растений нет, урожай нормальный) | Практически незасоленная (или очень слабо засоленная) | <0,10 | <0,15 | <0,15 | <0,15 | <0,20 | <0,02 | <0,30 |
| Слабое угнетение (выпады растений и снижение урожая на 10—20%) | Слабая | 0,10—0,20 | 0,15—0,25 | 0,15—0,30 | 0,15—0,30 | 0,20—0,30 | 0,25—0,40 | 0,30—0,60 |
| Среднее угнетение (выпады растений и снижение урожая на 20—50%) | Средняя | 0,20—0,30 | 0,25—0,40 | 0,30—0,50 | 0,30—0,50 | 0,30—0,60 | 0,40—0,70 | 0,60—1,00 |
| Сильное угнетение (выпады растений и снижение урожая на 50—80%) | Сильная | 0,30—0,50 | 0,40—0,60 | 0,50—0,70 | 0,50—0,80 | 0,60—1,00 | 0,70—1,20 | 1,0—2,0 |
| Выживают единичные растения (урожая практически нет) | Солончаки | >0,50 | >0,60 | >0,70 | >0,80 | >1,0 | >1,20 | >2 |

нии вода : почва = 5 : 1, и обобщает накопленный научный и производственный опыт. Наименьшие величины количественных показателей одних и тех же степеней засоления относятся к содовозасоленным почвам, включая содово-сульфатные и хлоридные. Это соответствует сложившемуся представлению, что содовое засоление наиболее токсично для растений. При одном и том же содержании солей в водной вытяжке наблюдается более сильное угнетение при содовом и меньшее при сульфатном и других типах несодового засоления. Очень важно подчеркнуть, что при содовом засолении в водную вытяжку переходят только натриевые и в меньшей мере магниевые соли; кальциевые соли в присутствии соды находятся в твердой фазе, т. е. в нерастворимом состоянии. Все количество натриевых солей ($Na_2CO_3$, $Na_2SO_4$, NaCl), извлеченное водной вытяжкой, относится к числу легкорастворимых, токсичных, способных накапливаться в почвенном растворе, т. е. определять актуальное засоление почв.

При хлоридном засолении соли водной вытяжки состоят тоже из легкорастворимых хлоридов всех катионов (Na, Mg, Ca) и бикарбонатов кальция и магния при отсутствии или с небольшой примесью сульфатов. Бикарбонат кальция водной вытяжки извлекается в основном из твердой фазы почвы в результате растворения карбонатов кальция, который в составе растворов присутствует в незначительном количестве и не определяет степень засоления почвы. При оценке последней по величине плотного остатка водной вытяжки для данного типа засоления приходится принимать в расчет количество труднорастворимых солей. Если сравнивать величины показателей содержания солей для одной и той же степени засоления (воздействия на растение), то величина плотного остатка при хлоридном типе засоления больше, чем при содовом засолении, примерно на величину, равную количеству извлеченного водной вытяжкой бикарбоната кальция.

При сульфатном типе засоления в составе плотного остатка все большую долю составляет сульфат кальция. Содержание его в водной вытяжке наибольшее в гипсоносных почвах с хлоридно-натриевым составом почвенного раствора. При полном насыщении водной вытяжки из гипсоносных почв в раствор способно перейти в расчете на сухую почву от 0,7 до 3 % $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (рис. 10)

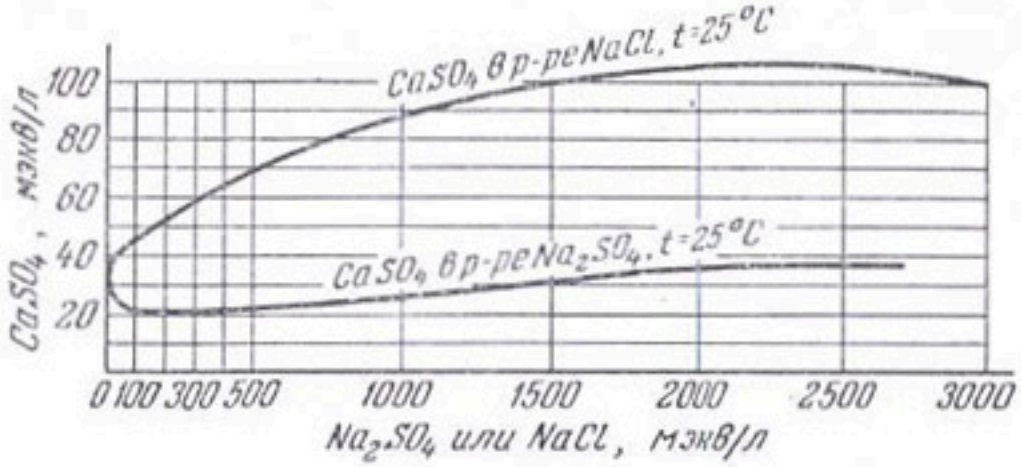


Рис. 10. Растворимость гипса в зависимости от содержания солей натрия в почвенном растворе.

в зависимости от количества и качества других легкорастворимых солей.

Оценка засоления почв по плотному остатку водной вытяжки для сульфатнозасоленных почв затрудняется. В Средней Азии динамику солей в сульфатнозасоленных почвах вынуждены были оценивать по содержанию хлор-иона. Величина плотного остатка для гипсоносных почв не показательна. В классификации В. А. Ковды, В. В. Егорова, В. С. Муратовой и Б. П. Строгонова по мере повышения сульфатности почв величина плотного остатка для одной и той же степени засоления повышается, что соответствует сложившемуся представлению о меньшей токсичности сульфатных солей, извлеченных водной вытяжкой. Это соответствует тому факту, что при сульфатном засолении при большей величине плотного остатка растение развивается удовлетворительно, так как сульфата кальция, растворенного водной вытяжкой, в почвенном растворе больше 2—3 г/л не накапливается; гипс в твердой фазе и его насыщенный раствор не токсичен для растений.

Что же касается сульфатов натрия и магния, то экспериментальный материал о влиянии солевого состава почвенных растворов в водных и песчаных культурах, а также вегетационных и полевых опытах на почвах и в производственных условиях не подтверждает сложившегося среди советских почвоведов мнения о большей токсичности хлоридных солей по сравнению с сульфатами натрия и магния. Во многих опытах оказалось даже наоборот: сульфаты натрия и магния токсичнее хлоридов; об этом заявили в своей обобщающей работе фи-

зиологи Л. Бернштейн, П. Симоно, Б. Строгонов (Международное руководство по орошению и дренажу на русском (1965) и английском языке под редакцией Ковды, Хагана, Ван Барена (1973).

Трудности оценки степени засоления по плотному остатку особенно велики при изучении динамики солей при мелиорациях, так как изменение солевого состава приводит к разному растворению количества нетоксичных (сульфатов и бикарбонатов кальция) солей, извлекаемых водной вытяжкой. Поэтому динамику стали анализировать по сумме солей за вычетом кальциевых, т. е. по сумме натриевых и магниевых, которые не вполне корректно называют токсичными. Учитывая, что количество натрия находится в коррелятивной связи с суммой токсичных солей, стали анализировать динамику по натрию. Впервые это было использовано В. Ю. Маргулисом и В. С. Муратовой для анализа изменения засоления при промывках гипсоносного солончака в Голодной степи. Потом оценку засоления по количеству токсичных (натриевых и магниевых), легкорастворимых солей стали использовать и в классификационных целях.

Классификация почв (Минашина, 1970) (табл. 32) по степени засоления, разработанная на основе статистической обработки зависимости урожая хлопка-сырца от содержания токсичных солей в почвенных растворах, рассчитанных по водной вытяжке и определенных прямым путем методами отжатия и вытеснения, показывает для хлоридно-сульфатного засоления почти такие же величины содержания токсичных солей для тех же степеней засоления, что и при содово-хлоридном и содово-сульфатном засолении по классификации В. А. Ковды и др. Количественные различия незначительны. Обнаруживается большое разнообразие величин содержания солей при степенях высокого засоления, когда растение гибнет.

Более детальное рассмотрение советского и зарубежного экспериментального материала показывает, что снижение урожая на одну и ту же величину в процентах от урожая на незасоленных почвах при сульфатном и хлоридном засолении происходит при концентрации солей, имеющих одинаковое осмотическое давление, что примерно соответствует равному содержанию солей в эквивалентном измерении.

Таблица 32. **Классификация орошаемых почв по степени засоления** (легкорастворимые натриевые и магниевые соли) (объемный вес почвы 1,4—1,6) (Минашина, 1970)

| Степень засоления почв | Хлоридно-сульфатное | | | Хлоридное | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | соли по водной вытяжке, % на сухую почву | | концентрация солей в почвенном растворе, г/л | соли по водной вытяжке, % на сухую почву | | концентрация солей в почвенном растворе, г/л |
| | суглинистую | супесчаную и тонкопесчаную | | суглинистую | супесчаную и тонкопесчаную | |
| Незасоленные | <0,08 | <0,05 | <4 | <0,06 | <0,04 | <3 |
| Слабозасоленные | 0,09—0,20 | 0,06—0,15 | 4—10 | 0,07—0,14 | 0,05—0,10 | 3—7 |
| Среднезасоленные | 0,21—0,40 | 0,16—0,30 | 10—20 | 0,15—0,30 | 0,11—0,24 | 7—15 |
| Сильнозасоленные | 0,41—0,80 | 0,31—0,60 | 20—40 | 0,31—0,60 | 0,25—0,45 | 15—30 |
| Очень сильно засоленные | >0,80 | >0,60 | >40,0 | >0,60 | >0,45 | >30 |

Таблица 33. **Классификация почв по содержанию токсичных солей и ионов** (Базилевич, Панкова, 1972)

| Степень засоления почв | Типы химизма засоления | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | хлоридный | сульфатно-хлоридный | хлоридно-сульфатный | сульфатный | содово-хлоридный и хлоридно-содовый | содово-сульфатный и сульфатно-содовый | сульфатно- или хлоридно-гидрокарбонатный щелочноземельный |
| | сумма токсичных солей, % на сухую почву | | | | | | |
| Незасоленные | <0,03 | <0,05 | <0,10 | <0,15 | <0,10 | <0,15 | <0,15 |
| Слабозасоленные | 0,03—0,10 | 0,05—0,12 | 0,10—0,25 | 0,15—0,30 | 0,10—0,15 | 0,15—0,25 | 0,15—0,30 |
| Среднезасоленные | 0,10—0,30 | 0,12—0,35 | 0,25—0,50 | 0,30—0,60 | 0,15—0,30 | 0,25—0,35 | 0,30—0,50 |
| Сильнозасоленные | 0,30—0,60 | 0,35—0,70 | 0,50—0,90 | 0,60—1,40 | 0,30—0,50 | 0,35—0,60 | Нет |
| Очень сильно засоленные | >0,60 | >0,70 | >0,90 | >1,40 | >0,50 | >0,60 | Нет |
| $Cl : SO_4$ в водной вытяжке | ⩾2,5 | 2,5—1,0 | ⩽1—0,3 | 0,3 | >1 | <1 | — |

Различия весовых единиц (граммы и проценты) укладываются в различия величин эквивалентных масс ионов сульфата и хлорида: $SO_4 : Cl = 48 : 35{,}5 = 1{,}35$. Если степень засоления выражать не в весовых процентах, а в мг·экв. на 100 г почвы, между токсичными солями разного состава эта разница незначительна. Специфическое влияние разных ионов солей на растение, которое проявляется в разном воздействии на питание растений, качество продукции и т. д., малоизвестно. Разные растения обладают неодинаковой устойчивостью к одним и тем же количествам одинаковых солей. Этот вопрос только начали изучать, поэтому количественная классификация по степени засоления для разных типов химизма пока не может быть обоснована имеющимися экспериментальными материалами.

В 1972 г. появилась классификация почв по засолению для всех типов химизма, в основу которой положено определение суммы токсических солей (Базилевич, Панкова, 1972) по водной вытяжке (табл. 33). Приняв за основу сумму токсичных солей, авторы тем не менее автоматически заимствуют из прежних классификаций разделение почв по типу химизма.

Для содовозасоленных почв приняты почти те же градации, что и в классификации В. А. Ковды, В. В. Егорова, В. С. Муратовой, Б. П. Строгонова и др. Для сульфатно-хлоридных и хлоридных почв приняты величины, близкие к величинам классификации Н. Г. Минашиной (1970, табл. 32). По мере повышения сульфатности почв по водной вытяжке сумму токсичных солей для каждой градации условно увеличивали, следуя сложившимся представлениям о меньшей токсичности сульфатных солей для растений.

Классификация получилась очень дробной, выделено 33 градации с разными количественными показателями, определенными, исходя из общих соображений. Реализуя сложившееся представление (при использовании плотного остатка) о меньшей токсичности сульфатов, авторами не учтено то обстоятельство, что они оперируют не плотным остатком, а суммой натриевых и магниевых солей; содержание же сульфата кальция, переходящего в плотный остаток за счет растворения гипса, в расчет не принимается. Для классификации по токсичным солям поправки на сульфатность необоснованны.

Классификация Базилевич, Панковой не учитывает

также динамичности солевого состава одной и той же почвы в пространстве и во времени. Если следовать этой классификации, то для одного и того же контура к разным пятнам надо применять разные количественные градации и в процессе сезонных изменений или при промывках одну и ту же почву относить то к одному, то к другому типу засоления с разными количественными показателями содержания токсичных солей в почве, хотя в этом нет необходимости.

Итак, если пользоваться плотным остатком в качестве показателя для разделения почв по степени засоления, следует использовать классификацию В. А. Ковды, В. В. Егорова и др. (табл. 31), которая выдерживает критику и с современных позиций. Если же переходить на токсичные соли, что позволяет точнее оценивать динамику почв по засолению, необходимость давать разные количественные показатели в зависимости от химизма в водной вытяжке для одной и той же степени засоления почв отпадает. Для некоторых культур сульфаты натрия и магния оказываются токсичнее хлоридов.

Выше отмечались трудности определения солеустойчивости растений из-за больших колебаний содержания солей при одном и том же состоянии и урожае культур. Последний зависит не только от содержания солей, но и от режима влажности и питания растений, характера распределения солей в почвах и ее сезонной динамики (что, в свою очередь, зависит от механического и минералогического состава), определяющих буферность почв, антагонизма солей и т. д.

Влияние других факторов на растения, выращиваемые на засоленных почвах, значительно превышает воздействие на урожай количественных различий в содержании солей. Урожай в 30—35 ц/га хлопка-сырца можно получить при слабом и среднем засолении почв при оптимальном режиме влажности и содержании питательных элементов в требуемом количестве. Поэтому чрезмерно дробление засоленных почв по химизму не имеет научного обоснования и не вызывается практической необходимостью. Наоборот, излишнее дробление затрудняет практическую работу при картировании, районировании, прогнозе. Тот, кто работал в поле и имел дело с массовым материалом, знает, что определить содержание солей с точностью до сотых невозможно из-за большой пестроты солей в пространстве. Две

рядом заложенные скважины покажут разные степени засоления.

В американской классификации разделение степени засоления почв дано по электропроводимости водного экстракта из почвы при влажности пасты. Незасоленные почвы характеризуются электропроводностью раствора меньше 4 ммо, слабозасоленные — 4—8, среднезасоленные — 8—16, сильнозасоленные — более 16; при хлоридно-сульфатном засолении это примерно соответствует почвам с содержанием легкорастворимых солей меньше 0,15; 0,15—0,35; 0,35—0,65 и больше 0,65% на сухую почву. Эти цифры принимаются одинаковыми для всех типов засоления.

Тем не менее качественно учитывать тип засоления почвы важно для прогноза изменения содержания солей при промывках, мелиорациях, разных режимах орошения. Известно, что хлориды из почвы легче вымываются, чем натриево- и магниево-сульфатные соли. При сульфатном засолении, кроме того, что сульфаты медленнее выносятся промывными водами и требуют больше воды, возникают побочные реакции, еще более затрудняющие мелиорации, — это сульфат-редукция, образование соды, осолонцевание. Очень неблагоприятное воздействие на физические свойства почв оказывают сульфатно-магниевые соли. При мелиорациях первично засоленных содовых почв приходится прибегать к химическим мелиорациям и т. д. Таким образом, при генерализации данных по засолению почв и их классификации по степени засоления в зависимости от содержания токсических солей тип засоления по химизму необходимо указывать.

Глубина залегания верхней границы солевого горизонта часто является определяющим фактором в оценке пригодности почвы под посев той или иной культуры. Поскольку относительно градаций засоленных почв, предложенных в свое время А. Н. Розановым и Е. Н. Ивановой (1938), никаких критических замечаний не высказывалось, то они принимаются без существенных изменений.

В оценке мелиоративных качеств засоленных почв для прогноза изменения засоления при мелиорациях и орошении важно знать мощность солевого горизонта. Почвы с маломощным засоленным горизонтом осваиваются легко, мощные засоленные почвы требуют дли-

тельных мелиораций и показывают на высокую степень вероятности реставрации засоления после промывок. С учетом вышеизложенного предлагается принимать в расчет при классификации засоленных почв следующие показатели: 1) глубину залегания верхней границы солевого горизонта; 2) мощность солевого горизонта; 3) содержание токсичных солей в солевом горизонте; 4) тип химизма засоления.

Генерализованная классификация почв по засолению представлена в таблице 34. Вместе с тем в проработках автора совместно с В. В. Егоровым (Егоров, Минашина, 1976) было признано целесообразным включить в семейство засоленных почвы со специфическим солевым составом (карбонатные, гипсоносные). Такие почвы в настоящее время попадают в контуры нового орошения и не получают своей оценки, как это уже указывалось для Голодной и Каршинской степи. Характеристика гипсоносных почв была дана выше.

Шоховые почвы, включающие твердый заизвесткованный горизонт в состав почвенного профиля, образовались на длительно стабильных поверхностях в результате высаживания карбонатов и грунтовых или подземных вод. Шоховые почвы в Средней Азии содержат 30% и более карбонатов, из них 15—20% состоят из первичных минералов (кальцита, доломита, арагонита) и 10—15% из вторичных, выпавших из растворов в виде кальцита, магнезита и других минералов и изменивших свойства горизонта и почвы в целом. Шоховый горизонт может быть сплошным, монолитным, или прерывистым, фрагментарным. По исследованиям Д. М. Кугучкова, П. Узакова (1967), эти почвы обладают пониженной производственной способностью, что в значительной мере приписывается токсическому влиянию присутствующего в них магнезита.

В семейство засоленных включены семь групп почв: 1) солончаковые и солончаки; 2) гипсоносные; 3) шоховые (повышенно-карбонатные); 4) солонцовые и солонцы; 5) солонцово-солончаковые; 6) гипсоносно-солончаковые; 7) гипсоносно-шоховые.

Установлены единые критерии для разделения почв в пределах названных групп, которые должны приниматься в расчет при определении пригодности почв под сельскохозяйственные культуры и при разработке мелиоративных и агротехнических мероприятий (дренаж,

Таблица 34. **Классификация почв по засолению**

| Группа почв | Разряд по глубине залегания верхней границы горизонта, лимитирующего плодородие почвы, см | Порядок мощности горизонта, лимитирующего плодородие почвы, см | Степень по содержанию солей (поглощенного Na) в лимитирующем плодородие горизонте, % | Форма по солевым выделениям и составу солей |
|---|---|---|---|---|
| I. Солончаковые и солончаки (собственно засоленные) | 1. Поверхностно-засоленные, <30<br>2. Солончаковатые, 30—60<br>3. Глубокосолончаковатые, 60—100<br>4. Глубинносолончаковатые, 100—120<br>5. Грунтово-засоленные, >200 | 1. Маломощнозасоленные, <40<br>2. Среднемощнозасоленные, 40—100<br>3. Мощнозасоленные, >100 | По сумме токсичных солей<br>1. Слабозасоленные, 0,10—0,20<br>2. Среднезасоленные, 0,21—0,40<br>3. Сильнозасоленные, 0,41—0,80<br>4. Очень сильнозасоленные и солончаки >0,81 | $SO_4 : Cl < 1$<br>1. Хлоридные и сульфатно-хлоридные<br>2. Содово-хлоридные<br>3. Нитратно-хлоридные<br>$SO_4 : Cl > 1$<br>4. Сульфатные (нейтральные)<br>5. Сульфатные (кислые)<br>6. Сульфатные щелочные (содовые)<br>7. Хлоридно-сульфатные<br>8. Нитратно-сульфатные |
| II. Гипсоносные (гипсовые) | 1. Поверхностно-гипсоносные, <30<br>2. Мелкогипсоносные, 30—60<br>3. Глубокогипсоносные 60—100<br>4. Глубинно-гипсоносные, 100—200 | 1. Маломощногипсовые, <40<br>2. Среднемощногипсовые, 40—100<br>3. Мощногипсовые, >100 | По $CaSO_4 \cdot 2H_2O$<br>1. Слабогипсоносные, 10—25<br>2. Среднегипсоносные, 25—50<br>3. Сильногипсоносные, >50 | По размеру кристаллов гипса, мм<br>1. Микрозернистые (гажевые), <0,1<br>2. Мелкозернистые, 0,1—1<br>3. Среднезернистые, 1—10 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 5. Грунтово-гипсоносные, >200 | | | 4. Крупнокристаллические, 10—100<br>5. Скальные, >100<br>По сложению:<br>а) плотные, б) рыхлые, в) шестоватые, г) сцементированные |
| III. Шоховые (повышенно-карбонатные) | 1. Поверхностно-шоховые, <30<br>2. Мелкошоховые, 30—60<br>3. Среднеглубокошоховые, 60—100<br>4. Глубокошоховые, 100—200<br>5. Грунтово-шоховые, >200 | 1. Маломощношоховые, <40<br>2. Среднемощношоховые, 40—100<br>3. Мощношоховые, >100 | По $CaCO_3$, $MgCO_3$<br>1. Шоховые — 30—60, <3<br>2. Сильношоховые — >60, <3<br>3. Магнезиально-шоховые — >25, 3—6<br>4. Сильномагнезиально-шоховые — >25, >6 | 1. Рыхлые<br>2. Плотные<br>3. Монолитносцементированные<br>4. Фрагментарносцементированные |
| IV. Солонцовые и солонцы | 1. Поверхностно-солонцовые, <10<br>2. Мелкосолонцовые, 10—20<br>3. Среднеглубокосолонцовые, 20—60<br>4. Глубокосолонцовые, 60—100<br>5. Глубинно-солонцовые, 100—200 | 1. Маломощносолонцовые, <40<br>2. Среднемощносолонцовые, 40—100<br>3. Мощносолонцовые, >100 | По Na от емкости<br>1. Слабосолонцеватые, 5—10<br>2. Среднесолонцеватые, 10—25<br>3. Сильносолонцеватые и солонцы, >25 | По составу солей в подсолонцовом горизонте<br>Преимущественно:<br>1. Хлоридно-сульфатный<br>2. Сульфатный<br>3. Содовый |
| V. Солонцово-солончаковые<br>VI. Гипсоносно-солончаковые<br>VII. Гипсоносно-шоховые | Классифицируются в соответствии с вышеназванными критериями по соланчаковому, гипсовому, шоховому, солонцовому горизонтам в порядке глубин их залегания | | | |

промывки, химические обработки, механическое разрушение хардпенов и др.).

Генерализация классификации засоленных почв позволит более четко планировать мелиоративные мероприятия и обоснованно распространять положительные результаты научно-производственного опыта, избегая риска в связи с несоответствиями с конкретными природными условиями.

Вопрос о классификации по степени засоления решается в совокупности с методом определения солей в почвах; для этой цели в практике используется полный и сокращенный анализ водной вытяжки. При полном анализе водной вытяжки определяются $CO_3$, $HCO_3$, $NO_3$, Cl, $SO_4$, Ca, Mg, Na и плотный остаток. Сокращенный анализ предусматривает определения $HCO_3$, Cl, Na, при этом можно пользоваться для разделения по степени засоления таблицей 35. Взятые здесь показатели согласуются с полевыми наблюдениями.

Таблица 35. **Классификация почв по степени засоления по данным сокращенного анализа водной вытяжки**

| Степень засоления | $HCO_3$ | Cl | Na | $HCO_3$ | Cl | Na |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | мг·экв. на 100 г почвы | | | % на сухую почву | | |
| Слабозасоленные | 1—2 | 0,2—1 | 1—2 | 0,061—0,122 | 0,01—0,035 | 0,023—0,046 |
| Среднезасоленные | 2—4 | 1—2 | 2—4 | 0,122—0,244 | 0,035—0,070 | 0,046—0,092 |
| Сильнозасоленные | 4—8 | 2—4 | 4—8 | 0,244—0,488 | 0,070—0,140 | 0,092—0,184 |
| Очень сильно засоленные | >8 | >4 | >8 | >0,488 | >0,149 | >0,184 |

Контроль промывок по плотному остатку невозможен, так как растворимость гипса в водной вытяжке зависит от состава солей. При содержании хлоридов натрия около 3% на сухую почву в водную вытяжку перейдет около 3,4% $CaSO_4$. После отмывки хлоридов содержание сульфата кальция около 1,0%. При наличии сульфата натрия в количестве 3,0—3,5% содержание сульфата кальция в составе плотного остатка водной вытяжки — 0,7%, а после его отмывки — 1%. Таким образом, вредные соли могут быть полностью вымыты, а плотный остаток водной вытяжки не только не уменьшится, но даже увеличится.

В почвах хлориды и сульфаты натрия обычно находятся в разном соотношении, поэтому трудно учитывать

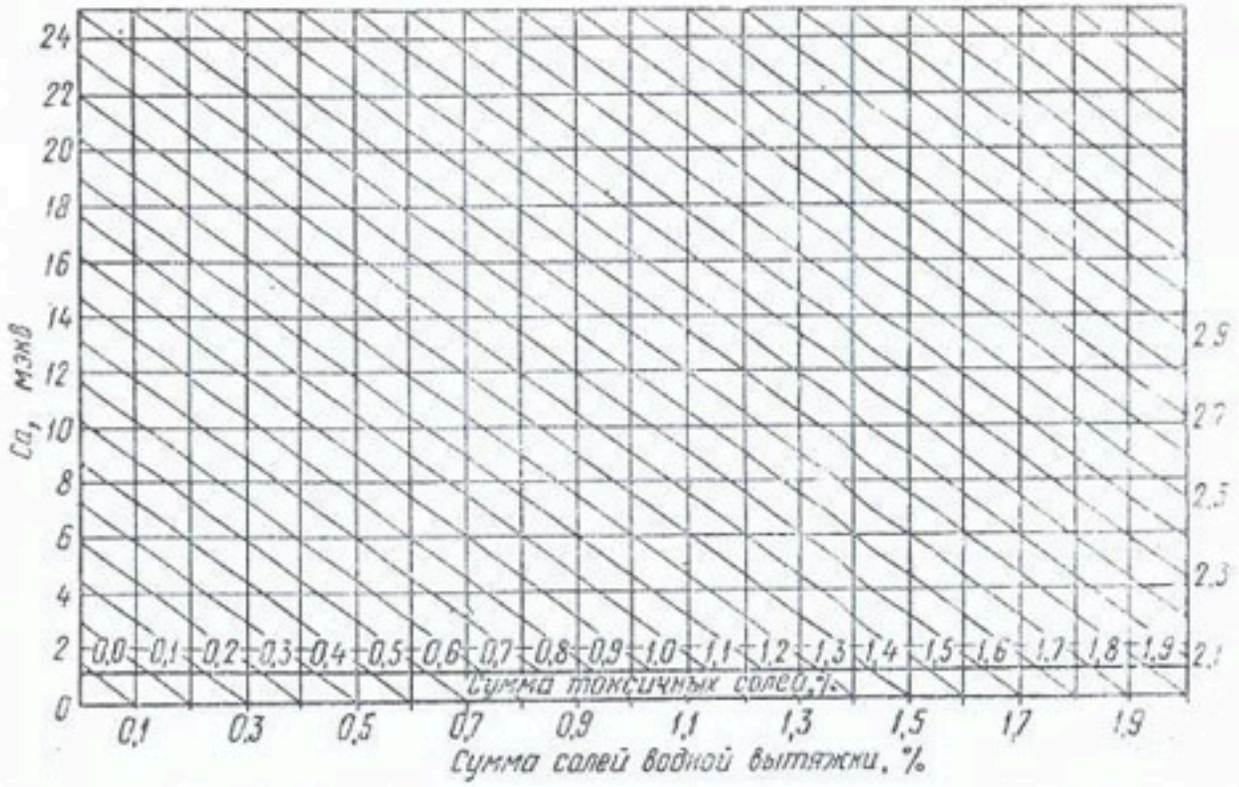


Рис. 11. Номограмма для расчета суммы токсичных солей по водным вытяжкам.

долю солей в плотном остатке за счет растворения гипса.

Автором была предложена номограмма для определения бескальциевой части плотного остатка или суммы токсичных солей. По этой номограмме определяется сумма солей натрия и магния, извлекаемых водной вытяжкой (рис. 11). Чтобы определить эту сумму, на нижней горизонтальной линии следует найти точку, соответствующую значению величины суммы солей (или плотному остатку) водной вытяжки, например 1,6%. По оси ординат находится точка содержания Ca (в мг·экв) в водной вытяжке, например 11. Точка пересечения наклонной линии от 1,6 и горизонтальной от 11 проектируется на верхнюю строку шкалы содержания токсичных солей и берется отсчет. В данном примере это будет 0,8%. Таким образом, при содержании солей в водной вытяжке 1,6% на сухую почву и 11 мг·экв. Ca сумма токсичных солей равна 0,8%.

Попытки многих авторов найти коррелятивную зависимость содержания суммы токсичных солей от плотного остатка не приводят к успешному решению задачи, так как соотношения эти непостоянны и изменяются с изменением не только величины плотного остатка, но и состава солей.

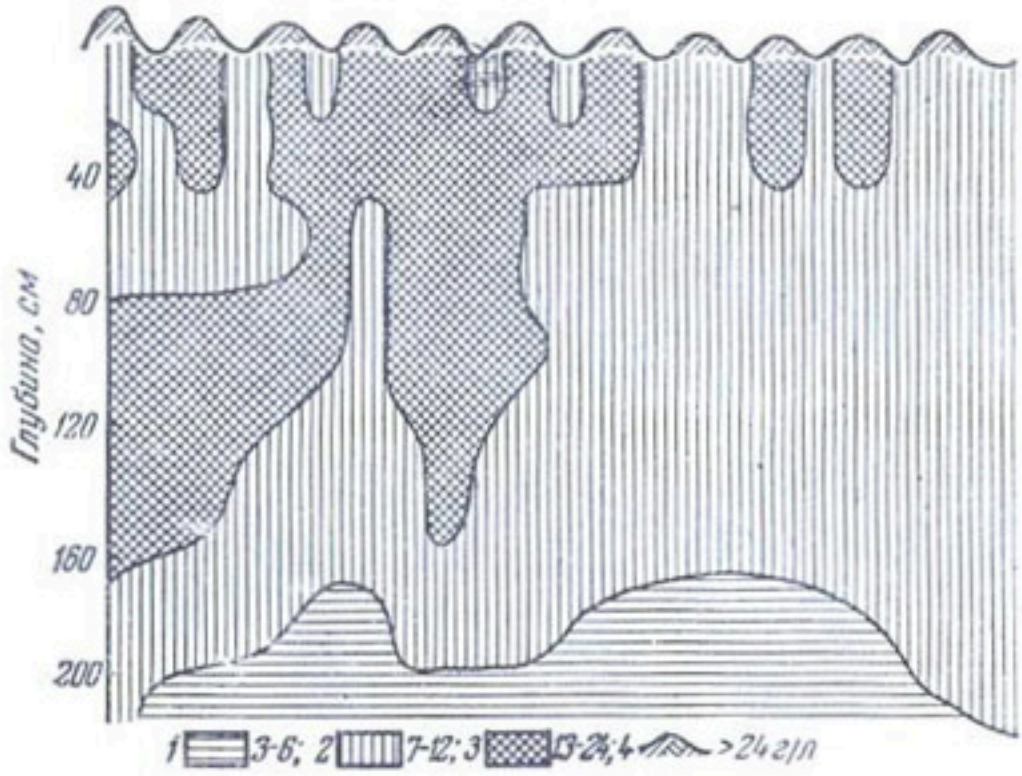


Рис. 12. Распределение солей в почвенном растворе по профилю засоленной почвы (посев хлопчатника): *1—3* — концентрация солей, г/л: *4* — гребни на поле.

Принятие классификации по степени засоления не исчерпывает всех задач характеристики по засолению почвенного покрова той или иной территории. Известно, что засоление отличается большой пестротой, которую можно охватить, оценивая весь ряд распределения значений для каждого контура генетически однородной почвы, что требует большой повторности взятия проб почв (рис. 12).

Установлено, что ряд величин, характеризующих засоление разных почв, может подчиняться различным законам математического распределения, чаще нормального и логнормального типа. При законе нормального распределения оценка упрощается. Среднеарифметическая величина отвечает типичному в понимании почвоведа, и при малом количестве проб достигается точное определение содержания солей.

При логнормальном типе наиболее часто встречаемое засоление (мода) и среднеарифметическое содержание не совпадают. Они могут оказаться в пределах одной градации, могут попасть и в разные категории по степени засоления. У почвоведов принято определять почву по типичному, т. е. чаще встречаемому (по моде). Это освобождает от необходимости делать много по-

вторений для определения степени засоления. По качественным признакам (растительности, микрорельефу, состоянию поверхности) выбирается наиболее типичное место для разреза, которое по кривой распределения отражает засоление, близкое к среднеарифметическому при нормальном и близкое к моде при логнормальном распределении. Дополнительные разрезы: на наиболее засоленном и на наименее засоленном пятне закладываются, чтобы иметь представление обо всем диапазоне содержания солей в контуре генетически однородной почвы. Отбор образцов ведется по генетическим горизонтам.

Такой подход, по-видимому, технически и экономически наиболее правильный для учета качества и инвентаризации (бонитировки) земельного фонда для всех угодий в масштабах 1:50 000, 1:25 000 съемки и более детальный для учета качества орошаемых и перспективных для орошения земель (1:10 000). Но и при этом проведение почвенно-мелиоративных съемок в нашей стране требует огромных затрат, так как они должны охватывать ежегодно не менее 3 млн. га орошаемых земель плюс 1 млн. га ежегодно вводимых под орошение новых земель. В год требуется закладывать около 270 тыс. разрезов и скважин, если даже придерживаться старых норм (один разрез на 15 га), брать и анализировать 2,5—3 млн. образцов почв и проб грунтовых вод на соли.

Для научных исследований детальность изучения и повторность проб определяются целью поиска и особенностью объекта изучения. Наибольшая дробность требуется при изучении солевой динамики при слабом засолении и на незасоленных замлях, но с опасностью засоления в межполивные, сезонные и годовые циклы. Трудности изучения при этом определяются малыми величинами содержания солей, сложностью их извлечения и количественного определения, поскольку содержание их может меняться в зависимости от используемой методики анализа.

Для исключения ошибки анализа требуется строгая стандартизация технологии анализа и большая повторность, определяемая требованиями математической статистики. Чтобы установить закон распределения, необходима большая повторность (десятки, а иногда и сотни анализов). Установление точного количества солей не

является единственной важной задачей. Не менее важно знать, как эти соли распределены в пространстве, как их пространственное распределение изменяется во времени под влиянием изучаемых факторов, как изменение количества и качества солей влияет на изменение свойств почвы в цикле рассоления — засоления — рассоления на данном уровне засоления и т. д.

## ПРОМЫВКИ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

Наличие в почве солей более 0,2% по сумме токсичных, 1 мг·экв. (0,035%) Cl или 2 мг·экв. (0,046%) Na затрудняет использование земель под орошение. Для удаления солей требуются эксплуатационные или капитальные промывки. Наличие солей в почвах показывает, что существующие условия и водно-солевые режимы способствуют их аккумуляции; чтобы изменить направление процессов в противоположную сторону, режимы должны быть коренным образом перестроены. Перестройка обычно требует сооружения дополнительных или специальных гидротехнических устройств — дренажно-коллекторных систем для отвода растворов из почв и грунтов за пределы орошаемого массива. Только при условии обеспеченного дренажа промывных и грунтовых вод можно осуществлять промывки нормами, достаточными для опреснения почвы, и гарантировать безвозвратное удаление солей за пределы почвенного профиля, не причинив вреда окружающим землям.

Эксплуатационные или профилактические промывки осуществляются на менее засоленных землях. Они предназначены для поддержания благоприятного солевого режима почв, подверженных слабому сезонному засолению. Эксплуатационные промывки чаще всего совмещаются с предпосевными поливами, в процессе которых удаляется избыток солей из почвы, накопившийся в предыдущий вегетационный сезон, и создается запас влаги в почве. Обычно нормы профилактической промывки, включая влагозарядку, даются в размере около 3 тыс. $м^3$/га. При этом промывные воды отводятся систематическим (эксплуатационным) дренажем. При промывке без дренажа уровень грунтовых вод поднимается выше допустимого, и соли возвращаются с током капиллярных вод обратно в почву. Эксплуатационные промывки в бездренажных условиях в прошлом осущест-

вляли на фоне «сухого» дренажа, т. е. при наличии рядом с орошаемыми неорошаемых участков, которые принимали оттесняемые с промывных участков грунтовые воды и служили их испарителями. Обычно неорошаемые земли занимали наиболее низкие поверхности.

Дренажная сеть должна быть рассчитана так, чтобы принять объемы вод, равные промывным, и вывести их за пределы орошаемых земель за определенное время в зависимости от природных гидрогеологических и ирригационно-хозяйственных условий. Промывки, как и любой другой технологический процесс, могут проводиться в широком диапазоне вариантов, которые различаются по нормам затрат воды, времени и труда на проведение промывок, по качеству промывки (равномерности опреснения корнеобитаемого слоя) и влиянию на окружающие земли, а также водные источники.

Практикой накоплен огромный технологический опыт применительно к конкретным условиям каждого оазиса или района при разной степени естественной дренированности. Разные технологии при одном и том же объеме промывной воды обеспечивают разную эффективность промывок. До 60-х годов нашего столетия, когда большая часть орошаемых земель не имела обеспеченного дренажа грунтовых вод, промывки были скорее всего как своего рода искусство в стремлении достичь наибольшего эффекта при наименьшем объеме воды. В этом направлении получены определенные результаты. Основным методом борьбы с засолением была агротехника и режим экономии поливной воды. Но соли при этом оставались в подпочвах на той же территории, локализуясь в грунтовых водах и почвах понижений, перелогах и выпавших из орошения землях.

В наше время крен борьбы с засолением переместился в сторону более широкого проведения гидротехнических мероприятий. Внимание к агротехническим мерам незаслуженно ослаблено. Решение же задачи достигается правильным сочетанием гидротехнических мер с агротехническими. С этих позиций изучение накопленного опыта представляет большой интерес. Имеется ряд работ (Малыгин, Коньков, Петров, Спенглер, Музычук, Рабочев и др.) с описанием агротехнических мер борьбы с засолением, их надо заново оценить с учетом новых гидротехнических возможностей. Исследователи, опираясь на свой опыт в разных условиях, давали часто

взаимоисключающие рекомендации, например о влиянии рыхления на эффективность промывок (Федоров, 1933, 1950; Рабочев, 1939, 1940), не объяснив при этом причин полученных различий.

Много внимания уделялось технологии проведения самой промывки. Л. П. Розов (1936) считал более эффективным режим прерывистой подачи воды. По его мнению, вначале надо было растворить соли, из твердой фазы почв перевести в жидкую, а потом вытеснить растворы новыми порциями промывной воды объемом, равным или несколько большим предельной полевой влагоемкости. С. В. Астапов, учитывая опыт невозможности полного замещения промывной водой раствора, удерживаемого молекулярными силами в почвах, рекомендует вытеснение раствора производить небольшими порциями (3—4), подавая норму прерывисто.

Исходя из этих рекомендаций, проведено много опытов, в которых испытывалась разная дробность промывной нормы, разное время перерывов в подаче воды в сочетании с проведением дополнительных обработок почвы во время перерывов (Легостаев, Рабочев). И в этом случае получены различные результаты. И. С. Рабочев, оценивая (1964) народный опыт в Чарджоуском оазисе, рекомендует перед промывкой почву вспахать, затем 1—2 раза промывать, подавая каждый раз в зависимости от механического состава 1—1,6 тыс. $м^3$/га (больше на тяжелых почвах), затем дать подсохнуть почве до состояния физической спелости, обработать чизелем и снова промыть один или два раза. Лучшим временем промывки считается осенне-зимнее время.

Обсуждались также способы промывки поверхностным смывом солей и затоплением. На практике большее развитие получили промывки затоплением. Меньшая распространенность метода смыва или промывки декантацией со сливом воды с поверхности чеков при большом распространении среди орошаемых поверхностно-засоленных почв объясняется отсутствием дренажно-сбросной сети, позволяющей управлять поверхностным стоком, не причиняя вреда почвам, не разрушая почв и не заиляя сети.

Метод боковых промывок, разработанный и теоретически обоснованный А. И. Калашниковым (1966), представляется перспективным для больших площадей орошаемых земель. Он дает возможность сочетать преиму-

щество промывок почв смывом и затоплением, при которых почва промывается и в то же время соли не вмываются глубоко в грунтовые воды. Метод нуждается в технологической доработке. Имеются и другие технологические особенности промывок (подача воды в каждый чек отдельно или по цепочке чеков, промывки по мелким или по крупным чекам и т. д.). В последнее время требования механизации диктуют поиски путей укрупнения чеков, но это не обещает успеха в повышении эффективности промывок. С укрупнением чеков возрастает пестрота почв по фильтрационным свойствам, которые, попадая в один чек, способствуют большей потере воды на фильтрацию.

В настоящее время больше всего внимания в мелиоративной литературе уделяется методам расчета норм воды для промывок. Предложенные для расчета формулы обосновываются разными представлениями о физической сущности процесса — построением разных моделей выноса солей. Наиболее старая модель, заимствованная из американских работ, основана на представлении о промывке как о процессе разбавления концентрированных почвенных растворов до концентраций, безопасных для растения. Например, если концентрация в почвенном растворе при предельной полевой влагоемкости равна 25 г/л (0,5% токсичных солей на сухую почву), то почвенный раствор надо разбавить не менее чем в 5 раз, чтобы снизить концентрацию до 5 г/л (0,1% солей). Это записывается формулой

$$M = \frac{S_0}{S_n} V - W, \qquad (1)$$

где $M$ — норма воды для промывки; $S_0$ — сумма токсичных солей до промывки, %; $S_n$ — допустимая сумма токсичных солей после промывки, %; $V$ — предельная полевая влагоемкость; $W$ — содержание воды в почве до промывки, мм водяного столба или м³/га.

В примере, взятом выше, чтобы разбавить почвенный раствор корневой зоны мощностью 40 см, потребуется воды:

$$M = \frac{0{,}5}{0{,}1} \times 120 - 120 = 480 \text{ мм}.$$

Если почва абсолютно сухая, то потребуется 600 мм воды.

Л. П. Розов, предлагая формулу для расчета, исходил из другого представления. Почва насыщается водой до предельной полевой влагоемкости и затем, чтобы почвенный раствор вытеснить, дается объем воды, равный его объему, при предельной полевой влагоемкости, плюс дополнительная часть воды для гарантии:

$$M=(V-m)+nV, \qquad (2)$$

где $m$ — запас воды в почве до промывки; $n$ — числовой коэффициент кратности (Розов его обычно принимал за 1,5, т. е. для вытеснения раствора дается норма в размере предельной полевой влагоемкости и еще половина для обеспечения запаса прочности).

По этой формуле норма не зависит от исходного засоления почв и содержание соли в расчетной формуле не учитывается.

В бездренажных условиях норму промывки надо было прежде всего соразмерять с водоемкостью почвогрунта. Исходя из этого, Н. А. Костяковым была предложена следующая формула для определения предельно допустимой нормы промывной воды, которую можно дать за один сезон:

$$M=H\cdot A\cdot\beta+100\cdot b\cdot h, \qquad (3)$$

где $A$ — потенциальная влагоемкость почвогрунта, % объема зоны аэрации; $\beta$ — недостаток насыщения грунта до полной влагоемкости, зависящий от влажности почвы перед промывкой, % от $A$; $b$ — разница между порозностью и полной влагоемкостью (5—10% объема); $h$ — высота допустимого поднятия уровня грунтовых вод (1,3—1,8 м).

Формула Костякова дает расчет ограничивающего объема промывной нормы на один сезон, а сама норма воды для промывки исчисляется по формуле (1); величина допустимого засоления при этом интерпретируется как предельно допустимая, соответствующая порогу коагуляции почвенных коллоидов — $S_n$.

Названные две крайние позиции в определении норм промывки по формулам (1) и (2) дают близкие величины при средней степени засоления, что также соответствует практическому опыту — 1,5—3 тыс. м³/га, т. е. норме, которая дается как эксплуатационная промывка. Сильнозасоленные почвы без дренажа не промывались, они выпадали из сельскохозяйственного использования.

Совпадение расчетных величин и определенных опытом норм промывки среднезасоленных почв случайное, но оно способствовало продолжительному использованию формул (американцы формулу (1) используют и до настоящего времени). Опыт промывок сильнозасоленных почв показал, что та и другая формула не годятся для расчета. Первая дает слишком большие нормы, вторая — слишком малые.

Теперь мы знаем, что процесс промывки это не только разбавление и не только вытеснение почвенных растворов, а то и другое одновременно. Почвенный раствор разбавляется при доведении влажности почвы до полной влагоемкости, а потом гравитационно подвижная часть раствора вытесняется, замещаясь новой порцией промывной воды, которая, в свою очередь, разбавляет раствор и затем гравитационно подвижная часть ее стекает, и т. д. Весь раствор не может быть вытеснен из почвы равным объемом промывной воды за один прием. Чтобы вытеснить часть почвенной воды до величины коэффициента завядания, надо приложить давление до 16 атм. При промывках такого давления не возникает, а работа без затраты энергии не совершается.

В. Р. Волобуев, обработав большой экспериментальный материал по промывкам почв, вывел эмпирическую формулу для расчета промывных норм:

$$N = \alpha \lg \frac{S_n}{S_0}, \qquad (4)$$

где $\alpha$ — показатель солеотдачи в условиях обеспеченного оттока промывных вод, который устанавливается опытным путем при промывках на монолитах или на площадках в поле.

Эта формула, будучи эмпирической, не вскрывает существа явления, хотя математически правильно описывает изменение содержания солей в зависимости от нормы воды. Без предварительного экспериментального определения солеотдачи нельзя определить промывную норму для данных конкретных условий. К тому же коэффициент солеотдачи изменяется в процессе промывки, так как затрату воды он показывает в среднем для данной нормы. Сейчас известно: в начале процесса промывки выносятся более концентрированные растворы, а в конце очень сильно разбавленные, при этом солеотдача снижается. Тем не менее эта формула нашла свое при-

менение главным образом в научно-производственных исследованиях и была развита П. С. Паниным (1968).

В последние годы интенсивно разрабатывалось направление, начало которому было положено С. Ф. Аверьяновым (1965) на основе использования классического уравнения переноса солей в пористых средах:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D^* \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} \pm \beta(Cm - C), \qquad (5)$$

где $C$ — концентрация почвенного раствора, г/л; $v$ — фактическая скорость движения воды в почвогрунтах, м/сутки; $v_0$ — скорость фильтрации, м/сутки ($v_0/m = v$); $m$ — активная пористость (объемная влажность) почвогрунта в долях единицы; $Cm$ — предельная концентрация раствора, г/л; $\beta$ — коэффициент обмена (растворимость или сорбция); $D^*$ — коэффициент конвективной диффузии, м$^2$/сутки; $x$ — расстояние, м; $t$ — время, сутки.

Это направление развивается в основном гидротехниками — специалистами по дренажу. Имеются разные ее решения (Шульгин, Айдаров, Рекс). Эта формула в разных модификациях применяется для описания движения воды в насыщенной и не насыщенной водой зоне, при движении солей вверх и вниз, независимо от почв и горизонтов, что нельзя признать правильным. В этой формуле не находит отражения зависимость процессов от условий среды и от самих свойств почв, обладающих разными физическими, физико-химическими и биологическими характеристиками. Особенно большую роль играют гидрогеологические условия: уровень, минерализация, напорность и динамика вод. Коэффициент конвективной диффузии надо определять в поле на площадках, это очень трудоемко. Да этот коэффициент и не отражает динамики свойств в пространстве и времени.

Расчетные коэффициенты, полученные в опытных промывках на малых площадках, не соответствуют таковым при промывках на мелиоративных полях. Это связано с большим разнообразием условий распределения солей, фильтрационных свойств, дренажа промывных растворов. Процесс промывок на монолитах или малых площадках не имитирует полностью процессов переноса солей в условиях производственных промывок. На последних они на один-два порядка сложнее, так как включаются новые зависимости взаимодействия почвы

с окружающей средой, которые в опытах были исключены (влияние гидродинамики почвенно-грунтовых вод, пестрота фильтрационных свойств, мезо- и микрорельеф поверхности и т. д.). Расчетные коэффициенты солеотдачи — $\alpha$ по Волобуеву и $D^*$ по Аверьянову — носят эмпирический характер, зависящий от конкретных условий, комплекс которых на каждом новом участке неповторим.

Автором сделана попытка подойти к расчету промывной нормы на основе новой модели сущности выноса солей, где механизм разбавления, физико-химического обмена сочетается одновременно с замещением и вытеснением раствора в объеме его гравитационно-подвижной фракции. Вынос солей осуществляется гравитационными токами вод, которые обогащаются ими в процессе прохождения через почву путем обмена с адсорбционно-удерживаемой частью почвенных растворов. Соотношение адсорбционной и гравитационно-подвижной части воды определяется механическим составом и структурой почвы. В почвах разного состава и структуры внутренняя поверхность колеблется от 17 до 45 м² на 1 г почвы. Например, 1 г тяжелосуглинистого серозема имеет поверхность 30 м² и содержит только 0,3 г воды при полной влагоемкости, из которых только около 0,05—0,1 г обладает гравитационной подвижностью, обеспечивающей стекание раствора при отсутствии подпора.

Количество влаги, неспособное к стеканию под влиянием гравитационных сил, соответствует примерно величине наименьшей (предельной полевой) влагоемкости, а более точно, количеству воды, которое не вытесняется при наличии дополнительного давления в 0,3 атм. Как известно, величина наименьшей влагоемкости зависит от состава и структуры почвы. Для среднеазиатских почв она изменяется примерно от 27% в пылевато-песчаных почвах до 40% в глинистых, а для средне- и тяжелосуглинистых обычно составляет 32—34% объема почвы.

Высокая физико-химическая активность почвы и широкое отношение количества адсорбционно-удерживаемой влаги к гравитационно-стекающей при большой площади соприкосновения обеспечивают быстрое установление равновесных концентраций ионов в адсорбционном и гравитационном слое в процессе стекания раствора. Эти важные свойства почвы (большая внутренняя

поверхность и физико-химическая активность) определяют специфику течения процесса обессоливания почв при промывках.

При доведении влажности до полной влагоемкости в процессе промывки концентрация солей в почвенном растворе уменьшается, хотя общее содержание солей в слое почвы остается тем же. Это можно записать в виде уравнения

$$C_0V=C_1P, \tag{6}$$

где $C_0$ — концентрация солей в почвенном растворе до начала промывки при влажности, равной наименьшей влагоемкости; $C_1$ — концентрация после доведения влажности почвы до полной влагоемкости.

Отсюда

$$C_1=C_0\frac{V}{P}. \tag{7}$$

Часть раствора, превышающая величину наименьшей влагоемкости, будет стекать в количестве, равном водоотдаче при полной влагоемкости $P$, т. е. $P-V$. При промывках по мере стекания раствора почва заполняется новыми порциями воды, которая при разбавлении и соприкосновении с адсорбционно-удерживаемым раствором в процессе стекания обогащается солями до равновесного состояния.

Концентрацию почвенного раствора на момент, когда через почву профильтровалось $N$ количество воды, $n$ раз сменившее гравитационно-подвижную часть раствора в процессе промывки

$$n=\frac{N}{P-V}, \tag{8}$$

можно рассчитать по формуле, которая выведена из уравнений (6) и (7)

$$C_n=C_0\left(\frac{V}{P}\right)^n, \tag{9}$$

а с учетом содержания солей в промывной воде, которые снижают растворяющую емкость промывной воды, эта формула для расчета концентрации почвенного раствора при промывках при содержании токсичных солей в оросительной воде, равном $S$, имеет вид:

$$C_n=C_0\left(\frac{V}{P}\right)^n+S, \tag{10}$$

где $C_n$ — концентрация почвенного раствора в конце промывки или на какой-то момент промывки после того, как гравитационно-подвижная часть раствора была $n$ раз заменена промывной водой.

Если вместо $n$ подставить $\frac{N}{P-V}$, то получим

$$C_n = C_0\left(\frac{V}{P}\right)^{\frac{N}{P-V}} + S,$$

отсюда

$$N = \left(\lg\frac{C_n - S}{C_0} : \lg\frac{V}{P}\right)\cdot(P-V), \qquad (11)$$

где $C_n$ — концентрация, заданная на конец промывки; $C_0$ — начальная концентрация почвенного раствора; $S$ — содержание токсичных солей в промывной воде, г/л; $V$ — наименьшая влагоемкость; $P$ — полная влагоемкость расчетного слоя, мм.

Величину $n$ можно выразить и так:

$$n = \frac{N}{P-V} = \frac{K\cdot t}{P-V}, \qquad (12)$$

тогда уравнение примет вид:

$$C_n = C_0\left(\frac{V}{P}\right)^{\frac{K\cdot t}{P-V}} + S, \qquad (13)$$

где $t$ — время промывки; $K$ — скорость фильтрации.

Концентрация почвенного раствора в этих расчетах — величина условная, полученная делением суммы токсичных солей на объем растворяющей части почвенного раствора. Токсичные соли определяются по водной вытяжке. Поскольку $\frac{C_0}{C_n}$ — величина безразмерная, то расчеты можно делать, оперируя величинами суммы токсичных солей по водной вытяжке; тогда формулы имеют вид:

$$S_n = S_0\left(\frac{V}{P}\right)^n + 0{,}02S; \qquad (14)$$

$$N = \left(\lg\frac{S_n - 0{,}02S}{S_0} : \lg\frac{V}{P}\right)\cdot(P-V), \qquad (15)$$

где $S$ — содержание токсичных солей, % на сухую почву до промывки; $S_n$ — то же, после промывки; остальные обозначения даны выше.

Мелиораторы обычно оперируют запасами солей на гектар в расчетном слое. В таком случае расчетные формулы примут следующий вид:

$$\Sigma_n = \Sigma_0 \left(\frac{V}{P}\right)^n + 0{,}01 S V; \tag{16}$$

$$N = \left(\lg \frac{\Sigma_n - 0{,}01 S V}{\Sigma_0} : \lg \frac{V}{P}\right) \cdot (P - V), \tag{17}$$

где $\Sigma_0$ — содержание солей до промывки, т/га; $\Sigma_n$ — то же после промывки в том же расчетном слое почвы. Расчет обычно ведется на метровый слой, реже на 1,5- или 2-метровый слой почвы.

Эти расчеты даются для определения промывной нормы нетто, — той части воды, которая профильтруется через почву. Фактически величина промывной нормы несколько больше, к ней надо прибавить расход воды на замочку грунтов ($W$), к этому прибавить расход на испарение и транспирацию в процессе промывки ($I$) и вычесть величину атмосферных осадков за это время ($A$), плюс — минус другие статьи прихода или расхода:

$$N_{\text{брутто}} = N + W + I - A \pm m. \tag{18}$$

Эти расчеты ведутся по усредненным данным для промываемого участка. В дальнейшем не составит труда перейти от расчета по усредненным данным к расчетам по кривым распределения засоления и коэффициентов фильтрации, когда законы распределения будут известны.

Особенно осложняет расчеты комплексность почвенного покрова. Неоднородность почвенного покрова, явление, широко распространенное во всех почвенно-климатических зонах, может быть связано со многими причинами и не только с засоленностью, но и с варьированием механического состава, что особенно характерно для почв на аллювиальных и пролювиальных отложениях.

Нередко пестрота покрова является и следствием почвообразовательных процессов, дифференциация которых обусловлена влиянием микрорельефа, фауны, растительности, литологией подстилающих грунтов и др. В результате разных сочетаний факторов почвообразования формируется «скрыто» неоднородный или явно комплексный почвенный покров; классическим

примером последнего является солонцовый комплекс в сухой степи, состоящий из типов почв, физические свойства которых очень сильно различаются.

Другой вид комплексного покрова представляют гипсово-солончаковые почвы, которые были описаны выше. Неоднородность их свойств связана не только с механическим составом, но и с образованием в почвах прослоек разного содержания и разного уплотнения гипса, что вызвано неоднородностью подстилающих грунтов, обусловливающих неравномерность подтока и расхода грунтовых вод на испарение.

При промывках почв с неоднородным почвенным покровом происходит перераспределение промывных вод на поверхности, при этом большая часть воды просачивается через более проницаемые почвы, которые к тому же часто оказываются и менее засоленными. Перераспределение воды в процессе промывок зависит также от разных условий стока дренажно-промывных вод в соответствии с разной литологией подстилающих грунтов или разной удаленностью промываемой почвы от дрены и коллектора.

Причиной перераспределения и неоднородной фильтрации воды также может быть и плохая спланированность поверхности поля, неудачное расположение промываемых чеков по мезорельефу. В практике расчетов норм промывок эти обстоятельства в расчет не принимаются совсем. Наименее проницаемые почвы и участки, через которые профильтровывается меньше, чем расчетный слой воды, остаются недопромытыми. В наиболее яркой форме это явление обнаружено (помимо воздействия других причин) при промывке почв под рисом на солонцово-солончаковых комплексах. Норм воды, определенных расчетом, оказывается недостаточно для опреснения почв до заданного уровня.

Различия в режимах промывки разных компонентов комплекса в зависимости от их разной проницаемости можно рассчитать заранее следующим образом. Например, в пределах одного поля, площадь которого принимается за единицу, имеется три компонента почвенного комплексного покрова — $A$, $B$, $C$, площадь каждого из них можно выразить в долях единицы от общей площади комплекса. Каждый компонент имеет соответственно коэффициенты скоростей фильтрации $K_1$, $K_2$, $K_3$. На промывку подана вода объемом нормы

нетто $N$. За один и тот же промежуток времени $T$ почва каждого компонента комплекса профильтрует количество воды, пропорциональное своей скорости фильтрации и занимаемой площади. При этом норма нетто распределится по расходу так, что каждый компонент комплекса профильтрует разное количество воды: $N=AK_1T+BK_2T+CK_3T=T(AK_1+BK_2+CK_3)$. Отсюда время, когда вся норма, поданная на промывку, просочится в почву, равно:

$$T=\frac{N}{AK_1+BK_2+CK_3}. \qquad (19)$$

Исходя из этого можно рассчитать количество воды, которое профильтруется через почву каждого компонента в зависимости от его водопроницаемости и комплекса в целом. Норма промывной воды в зависимости от водопроницаемости и площади компонентов должна быть увеличена. Поправочный коэффициент можно определить по соотношению нормы воды нетто — $N$, рассчитанной без учета неравномерной фильтрации и величины фактического расхода воды в результате фильтрации через наименее проницаемую почву за время, когда норма воды $N$ в миллиметрах водного столба профильтруется через почвы данного поля:

$$\Pi=\frac{N}{KT}, \qquad (20)$$

где $K$ — скорость фильтрации наименее проницаемого компонента комплекса.

Перераспределение воды по поверхности промываемого поля происходит и при однородном почвенном покрове, хотя в меньшем размере. В этом случае коэффициент фильтрации варьирует в небольших пределах. При таких условиях за среднюю величину наименьшего коэффициента фильтрации можно принять величину $X-S$ ($S$ — среднее квадратическое отклонение; $X$ — среднее значение коэффициента фильтрации при нормальном распределении). Поправочный коэффициент при этом будет вычисляться по формуле

$$\Pi=\frac{X}{X-S}. \qquad (21)$$

По имеющимся у нас данным, поправочный коэффициент для сероземов на лессах в таком случае был бы равен 1,1—1,5. Для почв с комплексным покровом для сухой степи поправочный коэффициент колеблется в интервале от 3 до 9.

Практика показала, что промывка почвы при норме более 25 тыс. м³/га и труднее осуществима. Поэтому такие почвы промывке не подлежат, прежде чем не будут выравнены физические свойства. В одних случаях, как, например, на такыровых комплексах и корковых солонцах, когда наименьшей фильтрационной способностью обладают верхние горизонты почв, эффективной мерой оказывается глубокая, иногда плантажная вспашка почвы, а в некоторых случаях срезка этих горизонтов при планировках. При содовом засолении водопроницаемость повышают путем сочетания глубокой обработки с кислованием и т. д. Пестрота почвенного засоления оказывает меньшее влияние, чем пестрота физических свойств на результаты промывок, так как засоление в процессе промывок выравнивается в результате более интенсивного выноса солей из более засоленных почв.

Вопросы варьирования и динамики фильтрационных свойств при промывках, хотя и не являются новыми, но тем не менее остаются недостаточно изученными. Этот пробел предстоит восполнить.

## УПРАВЛЕНИЕ СОЛЕВЫМ РЕЖИМОМ ОРОШАЕМЫХ ПОЧВ

Солевой режим орошаемых почв, подверженных процессам сезонного засоления-рассоления, в эксплуатационный период должен рассчитываться иным путем, чем при промывках. При промывках имеет значение течение самого процесса передвижения солей и изменение в нем концентрации солей в почвах и промывных водах. Зная закономерность течения процесса и его параметры, можно точно определить норму воды и время прекращения промывки для достижения заданного содержания солей в почве. С завершением мелиоративного периода устанавливается равновесие процессов засоления и рассоления.

Солевой режим почв в эксплуатационный период, требующий равновесия процессов, состоит из множест-

ва циклов во времени и пространстве, попеременного изменения направления движений солевых токов, накопления и выноса солей из почвы. При множестве элементарных движений одновременно (вверх, вниз и в стороны) рассчитать каждое в отдельности невозможно и не нужно, так как значение имеет результирующая этих процессов. Исходя из этого, мы и рассматриваем солевой режим почвы как динамическое равновесие.

Солевой режим орошаемых почв во многом определяется режимом грунтовых вод, поэтому последнему уделяется много внимания при решении вопросов мелиорации как гидрогеологами, так и почвоведами. Самыми первыми исследованиями причин вторичного засоления орошаемых почв, проводившимися в Голодной степи в 1910—1915 гг., была обнаружена зависимость засоления от глубины залегания грунтовых вод. Именно в то время появился термин «критическая глубина грунтовых вод», который позже приобрел содержание научного термина (Полынов, 1930; Ковда, 1947, 1960). Несколько позже О. А. Грабовской и В. А. Ковдой введено понятие «критическая минерализация грунтовых вод». Эти понятия прочно вошли в мелиоративную терминологию и широко использовались в проектной документации. Однако в 60-х годах нашего столетия появились высказывания об отсутствии прямой зависимости соленакопления в почвах от глубины грунтовых вод. В подтверждение приводились факты наличия незасоленных почв при близких грунтовых водах, и наоборот. Справедливо подчеркивалась большая динамичность процесса засоления в зависимости от режима орошения и других хозяйственно-ирригационных условий. В связи с этим предпринимались попытки уточнения понятия критической глубины.

Ссылаясь на опыты СоюзНИХИ, В. М. Легостаев* называет критическую глубину 1 м при минерализации грунтовых вод, равной 1,2—2 г/л, и 1,5—2 м при минерализации, равной 6—8 г/л. Он рекомендует поддерживать глубину грунтовых вод на уровне 0,8—1,2 м от поверхности почвы и считает этот вариант наиболее экономичным в смысле затраты труда и воды. В связи с этим, по его мнению, необходимо на всех орошаемых

---

* Легостаев В. М. О строительстве горизонтального дренажа в орошаемых районах.— «Хлопководство», 1971, № 5.

землях произвести опреснение грунтовых вод до 2—3 г/л и поддерживать луговой режим почвообразования. В 1971 г. в «Хлопководстве» В. М. Легостаев выступил со своими материалами о зависимости урожая хлопчатника от глубины залегания уровня и минерализации грунтовых вод. Опыты проводились в лизиметрах. На основе полученных результатов сделаны выводы, что в условиях Средней Азии самые высокие урожаи при минерализации вод до 2 г/л получены при глубине уровня грунтовых вод 1 м, а при 5—8 г/л более высокие урожаи получены при глубине 2 м.

Условия проведения опытов, их продолжительность, повторность и другие очень важные для выводов показатели не описаны в статье. Урожаи и расходы воды относятся, по-видимому, к разным опытам, по крайней мере для вариантов с повышенной минерализацией, которые в разных таблицах не совпадают. Полученные результаты сильно варьируют, несмотря на это, представлены без статистической обработки, выборочно без указания значимости различий и математического подтверждения достоверности выводов. И еще одно очень важное обстоятельство упущено — нет данных по солевому режиму почв. Неизвестно, при каком засолении получены эти результаты, каковы были запасы солей в почве, сколько дано с грунтовыми водами, как их содержание изменялось во времени. Объем лизиметра очень ограничен, не исключено, что поданные минерализованные воды очень скоро были разбавлены поливами и часть их удалена с дренажными водами. Все это неизвестно и снижает ценность опытов.

Фактически представленные материалы могут быть приняты только для характеристики влияния уровня грунтовых вод и интервале минерализаций 1,5—8 г/л, которые на слабодренированных территориях встречаются в пределах одного поля и, очевидно, на незасоленных или очень слабо засоленных почвах. Поэтому эти данные по каждому из вариантов опыта по глубине залегания уровня грунтовых вод можно обрабатывать как одну выборку. Результаты статистической обработки представлены в таблице 36.

На основе результатов обработки представленных в статье В. М. Легостаева данных можно сделать вывод, что на незасоленных почвах и опресненных грунтовых водах с минерализацией от 1,5 до 8 г/л в лизиметрах

Таблица 36. **Зависимость урожая хлопка-сырца и расхода воды на испарение и транспирацию от глубины уровня грунтовых вод в лизиметрах** (по данным СоюзНИХИ)

| Глубина уровня грунтовых вод, м | Число опытов | Урожай хлопка, ц/га | | | Расход воды на испарение и транспирацию, тыс. м³/га | | | | | | Расход грунтовой воды от общего расхода, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | общий | | | в том числе грунтовой | | | |
| | | $\bar{x}$ | $s$ | $V$ | $\bar{x}$ | $s$ | $V$ | $\bar{x}$ | $s$ | $V$ | |
| 1 | 10 | 55,6 | 18,7 | 34 | 11,5 | 2,2 | 19 | 7,4 | 2,3 | 30 | 65 |
| 2 | 10 | 45,6 | 13,6 | 30 | 8,3 | 2,1 | 30 | 2,7 | 1,5 | 58 | 32 |
| 3 | 8 | 37,7 | 6,9 | 18 | 7,4 | 2,6 | 36 | 0,5 | 0,26 | 59 | 6 |

Примечание: $\bar{x}$ — среднее арифметическое, $s$ — среднеквадратическое отклонение; $V$ — коэффициент вариации, %.

наиболее высокий урожай получен при глубине уровня грунтовых вод 1 м, самый низкий — при глубине 3 м, при этом наибольший расход воды на испарение и транспирацию также отмечен для вариантов с уровнем грунтовых вод в 1 м. Этот вывод подтверждается статистической обработкой, он справедлив и для отдельно взятых вариантов с минерализацией вод 5—8 г/л и 6—11 г/л. Дополнительные расчеты показали, что общий расход воды на 1 ц хлопка-сырца при разной глубине грунтовых вод получается примерно одинаковым (табл. 37).

Таблица 37. **Расход воды на единицу урожая хлопка-сырца**

| Уровень грунтовых вод, м | Средний урожай, ц/га | Испарение и транспирация | | | Промывка | Всего | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | оросительной | грунтовой | всего | | | |
| | | м³ на 1 ц хлопка | | | | | % |
| 1 | 55,6 | 74 | 134 | 208 | 166 | 374 | 165 |
| 2 | 45,6 | 124 | 58 | 182 | 73 | 253 | 113 |
| 3 | 37,7 | 184 | 12 | 196 | 30 | 226 | 100 |

Очевидно, при более глубоком уровне грунтовых вод растения не были обеспечены водой для получения большего урожая (в лизиметрах имитировался поливной режим, применяемый в производственных условиях). Если учесть расход воды на опреснение корнеобитаемого слоя, то расход воды на 1 ц хлопка-сырца ока-

зывается значительно большим при высоком уровне грунтовых вод. Это расчет на идеальные контролируемые условия. Фактический же расход воды на промывку солей при логнормальном законе распределения их в пространстве оказывается значительно более высоким.

Вопрос о целесообразной глубине поддержания уровня грунтовых вод на орошаемом поле и глубине закладки дрен на основе одних только данных по урожаю, полученному в лизиметрах, решить нельзя.

Можно лишь сделать вывод, что при глубине грунтовых вод 1 м создаются хорошие условия для поддержания почвы во влажном состоянии, исключается опасность подсушки растения из-за несвоевременного полива, что гарантирует получение высокого урожая при отсутствии других ограничивающих факторов.

Однако сами грунтовые воды способствуют развитию таких ограничивающих факторов, которые сводят на нет все преимущества в поддержании почвы во влажном состоянии. К числу таких факторов относится засоление почв и накопление токсичных продуктов восстановительных реакций, которые развиваются при высокой влажности почвы. Поэтому практикой установлено, что преимущества близкого уровня грунтовых вод реализуются очень редко при очень высокой проточности грунтовых вод, уносящих вредные соли и другие вещества, а чаще при высоком уровне грунтовых вод образуются солончаки и болотные почвы, непригодные для хлопчатника.

В лизиметрах эти факторы были исключены или не успели проявиться из-за кратковременности опыта. В лизиметры помещали проветренную, незасоленную почву, и минерализация грунтовых вод в них не превышала токсический уровень для растений даже в неразбавленном виде. А в процессе опыта грунтовые воды еще больше разбавлялись оросительными водами, накопление солей в почве было ограничено малым объемом грунтовой воды. Из практики также известно, что близкий уровень грунтовых вод задерживает начало полевых работ, на насыщенных водой пылеватых грунтах затрудняется обработка почв.

К тому же нельзя не учитывать большое разнообразие природных условий. Опыт показывает, что в одних условиях предпочтительнее вести орошаемое земле-

делие при близком уровне грунтовых вод и производство хлопка будет обходиться дешевле, как, например, в зоне выклинивания пресных грунтовых вод с хорошей естественной отточностью и устойчивыми, часто подстилаемыми галечниками грунтами. В других условиях искусственное поддержание режима грунтовых вод на глубине 1—1,5 м оказывается либо невозможным из-за ограниченности вод, дороговизны средств искусственного их поддержания на высоком уровне с высокой проточностью, из-за неустойчивости почвогрунтов, трудностей, связанных о обработкой почв, или из-за слишком высокой минерализации грунтовых вод, которые больше всего засоляют почву, когда уровень их стоит высоко.

Опыт показывает, что опреснение сильноминерализованных вод далеко не легкая задача, так как зона наиболее активного обмена солями охватывает толщу не менее 10—15 м. Для замены грунтовых вод во всей этой толще требуются многие годы. Уровень грунтовых вод можно быстро понизить с помощью искусственного дренажа.

Для каждых конкретных условий надо находить оптимальные решения. Они могут быть в пользу заложения дренажа на разных глубинах. Первым показателем эффективности мероприятий должно быть повышение и поддержание на высоком уровне плодородия почв. Поэтому к результатам краткосрочных опытов, при которых получается высокий урожай без учета влияния последействия режима грунтовых вод на свойства и производительную способность почв, надо относиться очень осторожно.

Вторым показателем эффективности, очевидно, должен быть расход воды на единицу урожая, так как в условиях Средней Азии, как и в других районах аридной зоны, ограничивающим фактором дальнейшего расширения орошаемого земледелия является недостаток воды.

Третий важный показатель — затраты на строительство и эксплуатацию регулирующих уровень и водно-солевой режим грунтовых вод сооружений, которые обеспечивали бы получение высоких урожаев и поддерживали бы высокое плодородие почв и необходимые геотехнические условия для проведения в сроки полевых работ.

Для расчета и выбора наилучшего варианта нужны опытные данные и прогнозные расчеты. К настоящему времени несколько лучше других вопросов изучен солевой режим почв и его регулирующие факторы. В то же время борьба с засолением на современном этапе развития орошаемого земледелия стоит на первом месте — сейчас это главный ограничивающий фактор на пути дальнейшего повышения продуктивности орошаемого земледелия.

С развитием орошаемого земледелия под новое освоение вовлекаются все более разнообразные по почвенно-мелиоративным условиям территории и для полива более широко используются воды повышенной минерализации (дренажные, грунтовые, речные, ухудшенные сбросом отработанных вод). В связи с этим возникает необходимость прогноза солевого режима орошаемых почв в эксплуатационный период с учетом всех факторов засоления. Если по прогнозу минерализация почвенных растворов будет выше критического значения для хлопчатника в существующих условиях эксплуатации, то должны быть определены необходимые мелиорации для их снижения. Поэтому расчет критических величин минерализации и уровня грунтовых вод, определяющих минерализацию почвенного раствора, приобретает все большее практическое значение.

В 70-е годы предложен простой метод для расчета солевого режима орошаемых почв, промывных режимов орошения и минимально необходимого дренажного стока грунтовых вод для поддержания устойчивого солевого режима ниже критического уровня (Минашина, 1970).

Понятия критических величин минерализации и уровня грунтовых вод пришлось уточнить в связи с установлением того факта, что солевой режим почв зависит не только от глубины уровня и минерализации грунтовых вод, но и режима орошения. При непромывном режиме орошения почвы со временем засоляются даже при низких минерализациях грунтовых вод, и, наоборот, обильными поливами почву можно поддерживать в незасоленном состоянии и при близком залегании минерализованных грунтовых вод, если обеспечен отток промывных вод. Конечно, это повлечет за собой опреснение грунтовых вод. Известно также, что при поливе минерализованными водами без осуществле-

ния промывного режима почва засолится и без всякого влияния грунтовых вод. Более того, в использовании минерализованных вод для орошения имеются свои критические пределы, которые определяются токсическим порогом солевых растворов для растений.

Поэтому такие важные и непременно действующие факторы, как время соленакопления, режим орошения и минерализация оросительных вод, должны непременно приниматься в расчет наряду с глубиной уровня и минерализацией грунтовых вод. Расчеты предложено вести на солевой режим орошаемой почвы. В связи с этим введено понятие «критический солевой режим почвы».

Солевой режим почвы называется критическим, если концентрация солей в почвенных растворах периодически приближается к токсическому для сельскохозяйственных растений уровню, но не превышает его.

Величина критического уровня содержания солей в почвенном растворе на основе большого экспериментального материала принята 10—12 г/л при хлоридно-сульфатном типе засоления.

Солевой режим зависит от многих факторов: глубины уровня грунтовых вод, их минерализации, минерализации почвенных растворов, режима орошения, промывок и минерализации оросительных вод, свойств почвогрунта, климатических условий и др. Все определяющие факторы солевого режима взаимосвязаны, изменение одного из них требует одновременного изменения других, чтобы предупреждать засоление почвы раньше, чем оно достигнет опасных размеров.

Солевой режим почвы можно выразить через водно-солевой баланс почвенного раствора за межполивной период, вегетационный период, год или более длительный период. Наиболее удобно расчеты вести на вегетационный период, так как почва к его началу опреснена зимними и предпосевными поливами, концентрация токсичных солей в почвенном растворе в это время обычно не превышает 2 г/л. В процессе вегетации орошаемые воды полностью расходуются на эвапотранспирацию. Промывной режим в вегетацию трудно осуществим. Он возможен на почвах легкого механического состава с высокими коэффициентами фильтрации. На обычных

среднесуглинистых почвах Средней Азии к концу вегетации расходуются не только орошаемые воды, но и срабатывается на испарение и транспирацию еще слой 1—2 м грунтовой воды (1,5—3 тыс. м³/га). Поэтому в обычных производственных условиях концентрация почвенных растворов к концу вегетационного периода всегда возрастает за счет испарения и транспирации оросительных и грунтовых вод. С завершением вегетационного периода почву снова опресняют специальными влагозарядковыми и промывными поливами при подготовке к следующему посеву. В районах с достаточным количеством атмосферных осадков опреснение происходит за их счет.

Таким образом, расчет солевого баланса на вегетационный период удобен, хорошо вписывается в годовой цикл природных и хозяйственных процессов. При высокой напряженности солевых процессов расчет критического солевого режима может быть сделан на каждый межполивной период при необходимости осуществления промывного режима орошения в вегетацию, что, например, необходимо при использовании минерализованных вод для орошения. При этом надо помнить, что промывной режим может быть осуществлен на проницаемых почвах с хорошим дренажем грунтовых вод.

Ниже даны расчеты на критический солевой режим почвы, превышение которого грозит значительным снижением урожая. Поэтому в реальных условиях поливы должны поддерживать солевой режим ниже критического уровня.

Статистическим анализом фактических данных по соленакоплению установлено, что при уровне грунтовых вод в интервале от 1,4—1,6 весной до 2,0—3,0 м осенью и непромывном режиме орошения прирост солей за вегетацию распределяется в слое 0—60 см почвы (Минашина, 1970). Это соответствует данным водного баланса, на основе которого установлено, что более 90% расхода влаги хлопчатником осуществляется через этот слой, в котором сосредоточена основная масса корневых систем. Это обстоятельство очень упрощает расчеты.

Уравнение солевого баланса почвенного раствора в горизонте сезонного соленакопления можно записать следующим образом:

$$V(C-C_1)=gx+NS, \qquad (22)$$

где C — концентрация почвенного раствора расчетного слоя на конец вегетационного периода; $C_1$ — то же, на начало вегетации, г/л; $V$ — влажность почвы на уровне наименьшей влагоемкости за вычетом нерастворяющего объема (гигроскопической воды); для суглинистой почвы это величина равна 310 мм на метровый или 180 мм на 60-сантиметровый слой почвы, который мы принимаем за расчетный для хлопчатника; $g$ — количество испарившихся за вегетацию грунтовых вод, мм; $x$ — минерализация грунтовых вод, г/л; $N$ — количество оросительных вод при непромывном режиме орошения, мм; S — минерализация оросительных вод, г/л.

Отсюда может быть определена критическая минерализация грунтовых вод при допустимом приросте концентрации солей в почвенном растворе 60-сантиметрового слоя при заданной глубине грунтовых вод, которая определяет количество испарившихся вод с учетом минерализации оросительной воды:

$$x = \frac{(C - C_1) \cdot V - NS}{g}. \qquad (23)$$

Для примера рассчитана критическая минерализация грунтовых вод для некоторых оазисов Средней Азии.

В таблице 38 приведены результаты расчета критической минерализации грунтовых вод при $V = 180$ мм, $C - C_1 = 10$ г/л. Взяты пять градаций минерализации оросительных вод в интервале от 0,1 до 2 г/л легкорастворимых (токсичных) солей. Расход оросительных и грунтовых вод на испарение взят по лизиметрическим наблюдениям для Чарджоуского оазиса — данные Рабочева (1964), для Мургабского оазиса — данные Топалова (1971), для остальных — Каца (1967).

Для постоянных гидрогеологических условий с известной глубиной и минерализацией грунтовых вод аналогично можно определить предельно допустимую минерализацию оросительных вод по формуле:

$$S = \frac{V \cdot C - G \cdot x}{N + V}.$$

Полученные результаты расчета расхода оросительной и грунтовой воды на испарение и транспирацию свидетельствуют о большой роли в определении этих величин

Таблица 38. **Критический дренажный сток** (минерализация оросительной воды 0,25 г/л)

| Оазис | Глубина грунтовых вод, м | Критическая минерализация, г/л | Критический дренаж | Расход воды на испарение и транспирацию | Дренажные воды, % от испарения и транспирации |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | тыс. м³/га, год | | |
| Шерабадский | 1,0 | 1,5 | 14,0 | 15,0 | 90 |
| | 1,5 | 3,2 | 6,2 | 9,4 | 66 |
| | 2,0 | 12,9 | 1,5 | 6,0 | 25 |
| | 2,5 | 25,4 | 1,5 | 5,5 | 27 |
| Бухарский | 1,0 | 1,7 | 12,4 | 13,8 | 90 |
| | 1,5 | 2,7 | 7,2 | 10,8 | 67 |
| | 2,0 | 9,3 | 2,0 | 7,1 | 28 |
| | 2,5 | 19,2 | 1,5 | 6,7 | 22 |
| | 3,0 | 22,8 | 1,5 | 7,0 | 21 |
| Вахшский | 1,0 | 3,2 | 6,2 | 8,9 | 72 |
| | 1,5 | 6,8 | 2,7 | 7,9 | 33 |
| | 2,0 | 14,2 | 1,5 | 7,9 | 20 |
| | 2,5 | 19,1 | 1,5 | 7,9 | 19 |
| | 3,0 | 27,1 | 1,5 | 7,0 | 21 |
| Хорезмский | 1,0 | 2,5 | 7,8 | 13,2 | 59 |
| | 1,5 | 3,2 | 6,2 | 11,6 | 53 |
| | 2,0 | 4,8 | 4,1 | 11,9 | 34 |
| | 2,5 | 6,5 | 2,8 | 11,5 | 24 |
| Чарджоуский | 1,0 | 2,0 | 11,3 | 12,4 | 91 |
| | 2,0 | 5,9 | 3,7 | 7,5 | 49 |
| | 3,0 | 11,4 | 1,7 | 6,6 | 24 |

свойств почвогрунта. Оазисы с близкими по свойствам почвами показывают близкие значения критических минерализаций грунтовых вод при равной их глубине. Чарджоуский и Хорезмский оазисы при песчанисто-суглинистом механическом составе и преобладании в составе ила грубодисперсных гидрослюдистых минералов должны иметь более опресненные грунтовые воды, минерализация которых даже при залегании на глубине 2,5 м не должна превышать 6 г/л для получения удовлетворительного результата при орошении пресными водами. А при использовании для орошения вод с минерализацией выше 2 г/л требуется уже промывной режим орошения в вегетационный период. Эти расчеты согласуются с практическим опытом, который показывает, что на получение урожая в Хорезмском оазисе расходуется больше воды, чем в других оазисах, что диктуется необходимостью поддержания минерализа-

ции грунтовых вод и почвенных растворов на более низком уровне.

Обращает на себя внимание близкое значение критической минерализации грунтовых вод для Шерабадского и Мургабского оазисов. Оба оазиса расположены в южной части Средней Азии, обладают тяжело- и среднесуглинистыми почвами с очень высокой дисперсностью илистых минералов, своим происхождением обязанных пустынному (такырному) процессу почвообразования. Эти почвы обладают пониженной скоростью водопроводимости и диффузии солей. Аналогичными свойствами обладают почвы и Тедженского оазиса. Результатом таких свойств является быстрое ослабление влияния грунтовых вод с их заглублением. При глубине грунтовых вод 2 м при орошении пресными грунтовыми водами критическая минерализация их по расчету получается около 12 г/л, т. е. очень высокой по сравнению с другими оазисами.

Указанные в таблицах критические величины минерализаций грунтовых вод допустимы, если только грунтовые воды не будут превышать во время вегетации соответствующих им глубин, что должно быть гарантировано дренажем. При этом надо иметь в виду, что здесь даны средние величины, а в природных условиях фактическое распределение минерализаций, как показывают исследования, получается неравномерным: на 30% площади минерализации вод будут несколько больше средних величин, на 70% — ниже. Это относится и к засолению почв. Критическая величина минерализации грунтовых вод должна приниматься как контрольная, показывающая крайний допустимый предел, превышение которого ведет к засолению почв.

Устойчивый многолетний солевой режим орошаемых почв при критических минерализации и уровне грунтовых вод может быть обеспечен при условии удаления сезонного прироста солей за пределы зоны активного обмена. В связи с этим появляется необходимость определения размеров критического дренажа (оттока) грунтовых вод, гарантирующего стабильный солевой режим на орошаемом поле.

При критическом солевом режиме прирост солей за вегетационный период должен полностью срабатываться не дольше чем за год. Величина минимально необходимого дренажного стока для удаления солей из почв и

грунтовых вод с орошаемого поля может быть определена следующим образом:

$$D_1 = \frac{(C-C_1)\cdot V}{x}. \qquad (25)$$

Количество промывных вод в минимальном их выражении (нетто) в условиях отсутствия напора грунтовых вод может быть приравнено к количеству критического дренажного стока. Количество поступивших с промывными водами солей составит $D_1 \cdot S$, что требует дополнительного дренажного стока $\Delta D = \frac{D_1 \cdot S}{x}$; подставляя значение $D_1$, получим

$$\Delta D = \frac{(C-C_1)\cdot V \cdot S}{x^2}. \qquad (26)$$

Таким образом, величина суммарного годового критического стока будет определяться формулой

$$D = D_1 + \Delta D = \frac{(C-C_1)\cdot V}{x} + \frac{(C-C_1)\cdot V\cdot S}{x^2} =$$

$$= \frac{(C-C_1)\cdot V}{x}\left(1+\frac{S}{x}\right). \qquad (27)$$

Суммарное количество годового дренажного стока $D$ тем выше, чем больше минерализация оросительных вод и выше уровень грунтовых вод, что требует поддержания критической минерализации последних на низком уровне.

При минерализации грунтовых вод более 12 г/л значение $x$ для определения количества промывных вод надо принимать равным 10 г/л по токсичным солям, что соответствует допустимой концентрации почвенного раствора. Соответственно при этом и дренажный сток получится несколько больше критического. При этом грунтовые воды в процессе эксплуатации опреснятся постепенно до 10—12 г/л.

Солевой баланс орошаемой почвы при устойчивом (равновесном) солевом режиме может быть выражен равенством:

$$NS + PS + gx + AO = Dx, \qquad (28)$$

где $S$ — минерализация оросительных вод, из которых $N$ мм израсходовано на испарение и транспирацию, $P$ мм израсходовано на промывки; $g$ — количество испарив-

шейся грунтовой воды, мм; $x$ — критическая минерализация грунтовых вод, г/л; $D$ — критический дренажный сток, мм; $A$ — атмосферные осадки, мм; минерализация их — $O$, г/л.

Расчеты критического дренажного стока для некоторых оазисов Средней Азии, произведенные исходя из критических минерализаций грунтовых вод при данной глубине их залегания, дали результат, представленный в таблице 39.

Таблица 39. **Критическая минерализация грунтовых вод для хлопчатника, г/л**

| Оазис | Глубина грунтовых вод, м | Содержание легкорастворимых солей в оросительных водах, г/л | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2,0 | 1,0 | 0,5 | 0,25 | 0,1 |
| Мургабский | 1,0 | 1,5 | 3,4 | 4,4 | 4,8 | Не опр. |
| | 2,0 | 3,6 | 10,3 | 13,4 | 14,7 | » » |
| | 3,0 | 9,2 | 22,6 | 29,0 | 32,6 | » » |
| Шерабадский | 1,0 | 0,8 | 1,2 | 1,4 | 1,5 | 1,6 |
| | 1,5 | 1,8 | 2,6 | 3,0 | 3,2 | 3,3 |
| | 2,0 | 6,6 | 10,2 | 12,0 | 12,9 | 13,5 |
| | 2,5 | 12,7 | 20,0 | 23,6 | 25,4 | 26,6 |
| Бухарский | 1,0 | 1,1 | 1,4 | 1,6 | 1,7 | 1,8 |
| | 1,5 | 1,4 | 2,2 | 2,5 | 2,7 | 2,8 |
| | 2,0 | 3,5 | 7,1 | 8,6 | 9,3 | 9,7 |
| | 2,5 | 7,3 | 14,1 | 17,6 | 19,2 | 20,2 |
| | 3,0 | 7,4 | 16,2 | 20,5 | 22,8 | 24,4 |
| Вахшский | 1,0 | 2,0 | 2,7 | 3,0 | 3,2 | 3,3 |
| | 1,5 | 2,4 | 5,1 | 6,3 | 6,8 | 7,1 |
| | 2,0 | 4,8 | 10,2 | 12,9 | 14,2 | 15,1 |
| | 2,5 | 6,4 | 13,7 | 17,3 | 19,1 | 20,3 |
| | 3,0 | 9,0 | 19,7 | 25,0 | 27,7 | 29,3 |
| Хорезмский | 1,0 | Режим | 1,7 | 2,2 | 2,5 | 2,6 |
| | 1,5 | в вегета- | 2,3 | 2,9 | 3,2 | 3,4 |
| | 2,0 | цию | 2,9 | 4,2 | 4,8 | 5,2 |
| | 2,5 | должен | 3,7 | 5,6 | 6,5 | 7,1 |
| | | быть | | | | |
| | | промыв- | | | | |
| | | ным | | | | |
| Чарджоуский | 1,0 | То же | 1,6 | 1,9 | 2,0 | 2,1 |
| | 2,0 | | 4,7 | 5,5 | 5,9 | 6,2 |
| | 3,0 | | 8,8 | 9,7 | 11,4 | 11,9 |

Данные расчета характеризуют суммарную потребность в дренаже без учета наличия естественного притока и оттока. Поэтому при переходе к реальным услови-

ям в расчетные величины должна быть внесена поправка с учетом конкретных условий расчетного поля. При этом величина потребности в искусственном дренаже может быть больше и меньше расчетной. Например, для повышенных приканальных участков она может быть меньшей на величину, равную локальной естественной отточности, которая обеспечивается естественным путем. В межканальном понижении потребность в искусственном дренаже будет больше с расчетом удаления не только прироста солей на данном участке, но и грунтовых вод, подтекающих со стороны приканальных повышений. Понятно, что потребность в дренаже зависит и от КЗИ, с уменьшением которого она уменьшается.

Фактическая потребность в дренаже ($Dn$) может быть выражена уравнением

$$Dn = D + I - Q, \qquad (29)$$

т. е. она равна расчетному критическому дренажу для обеспечения устойчивого солевого режима в бесприточно-безотточных условиях плюс $I$ — естественный приток и за вычетом оттока $Q$, осуществляемого тоже естественным путем. Для оазисов на равнинах пустынной зоны приток и отток практически незначительны, $Dn$ будет равно расчетной величине критического дренажа.

Полученные данные по критическому дренажному стоку в зависимости от минерализации и глубины грунтовых вод, необходимому для обеспечения устойчивого солевого режима не выше критического, позволяют подойти к выбору наиболее экономных водно-солевых режимов в зависимости от природных и ирригационно-хозяйственных условий.

Режимы при критическом уровне залегания грунтовых вод, равном 1—1,5 м, наиболее расточительны в смысле большого расхода воды на испарение, транспирацию и дренажный сток. При этом общий расход воды в разных оазисах равен 17—29 тыс. м³/га в год, из которого 30—50% приходится на дренажные воды. Кроме того, что управлять солевым режимом при близких грунтовых водах очень трудно, так как испаряется большое количество грунтовых вод, поэтому даже критическая минерализация должна быть очень низкой (1—3 г/л), почвенные растворы надо сильно разбавлять. В то же время такие участки должны быть обеспечены очень эффективным естественным или искусственным дренажем,

позволяющим отводить не менее 6—14 тыс. м³/га грунтовой воды в год, что соответствует среднегодовому модулю дренажного стока 0,2—0,5 л/с·га. Если нет природного подтока пресных вод, запасы грунтовых вод надо пополнять оросительными в зимне-весеннее время, а местами и в вегетационный период, где грунтовые воды быстро срабатываются на испарение и уровень их падает за пределы доступной для растений глубины.

Таким образом, нет необходимости стремиться во всех случаях поддерживать уровень грунтовых вод высоко, для каждых конкретных условий должны быть выбраны свои оптимальные варианты. В зоне выклинивания хорошо отточных пресных грунтовых вод возможно орошаемое земледелие при уровне грунтовых вод 1—1,5 м, при этом будут реализованы все выгоды «субирригации» в смысле экономии оросительных вод и труда. На большей части территорий оазисов пустынной зоны, на ныне орошаемых полях минерализация грунтовых вод колеблется в пределах 5—12 г/л; наиболее экономным будет поддержание уровня грунтовых вод на глубине 2—2,5 м от поверхности почвы. На землях внутри оазисов, занятых солончаковыми перелогами и залежами, где минерализация грунтовых вод более высокая — 15—40 г/л во всей зоне активного обмена (20—30 м), надо рассчитывать на более глубокое опускание уровня воды — 2,5—3,5 м от поверхности почвы. В соответствии с этими величинами инженеры должны рассчитывать глубину заложения дрен и подбирать наиболее соответствующие конструкции, которые бы обеспечили заданные режимы. Шаблонные решения всегда обходятся дороже и оказываются менее эффективными.

Другой путь регулирования солевого режима почв, который может быть эффективным только в сочетании с дренажем, это совершенствование режимов орошения, сокращение бесполезных потерь воды на фильтрацию из постоянной оросительной и подводящей временной сети. В этом направлении предстоит большая работа. Промывной режим орошения необходим для выщелачивания накапливающихся в почвенных растворах солей, но в разумных пределах. Специалисты, занимающиеся отработкой поливных режимов почвы, не должны забывать о том, что полив — это регулирование не только водного режима орошаемых почв, но и солевого и биохимического режимов почв.

При оценке направленности воздействий промывок и поливов на солевые перемещения в орошаемых почвах при идеальных условиях нельзя забывать, что регулирование солевого режима орошаемых почв зависит не только от норм и качества воды для полива и промывки, но и от сочетания с другими условиями и мероприятиями и определяется также уровнем и минерализацией грунтовых вод. Среди этих условий наиболее важны планировка поверхности орошаемых почв, улучшение водно-физических свойств почв, ликвидация пестроты почвенного покрова на орошаемом поле, техника и технология полива, наконец, агротехника и севообороты и т. д. Для каждых конкретных условий имеются свои оптимальные варианты сочетаний, позволяющие при более экономном расходе воды добиваться хороших результатов.

Многовековой практикой найдено много ценных приемов, позволивших осваивать и успешно использовать почвы исходно разного качества и придавать им свойства лучших плодородных оазисных почв. Особенность современных условий состоит в том, что переход на индустриальную основу в орошаемом земледелии требует перестройки всей сложившейся системы регулирования водно-солевого режима орошаемых почв. Нельзя заменить одно звено, не нарушив всей цепи природных явлений, о чем часто забывают мелиораторы.

Знание почв, направленности почвообразовательных процессов и их закономерностей развития в зависимости от природных (геологических, геоморфолого-литологических, гидрогеологических и др.) и ирригационно-хозяйственных условий позволит избежать крупных ошибок при перестройке старых систем и сооружении новых на целинных землях.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время в числе орошаемых и подлежащих орошению почв имеется большое разнообразие типов, различающихся между собой как по свойствам и составу почв, так и по условиям природно-хозяйственного распространения, плодородных и неплодородных, требующих применения специальных мер освоения и окультуривания. Борьба с засолением и последствиями солевых воздействий на почвы (потеря гумуса, разрушение структуры, осолонцевание, ощелачивание и т. д.) по-прежнему остается одной из актуальных задач современного этапа развития мелиоративных работ. В решении этой задачи не может быть однозначных и упрощенных подходов. Каждый объект индивидуален, это не исключает необходимости поисков их типизации и классификации по условиям развития и направлению течения почвенно-мелиоративных процессов для выработки принципиальных направлений мелиоративных работ.

В данной работе описаны зональные, литогенные, гидрогенные, палеогенные почвы и показана их мелиоративная специфика (различные зональные и гидроморфные почвы Средней Азии, орошаемые, гипсоносные, солончаки, песчаные, такыры и т. д.), дана их классификация.

Изучение солевого режима и баланса солей в орошаемых почвах и практический опыт использования засоленных земель показывают, что прямой, однозначной зависимости между поступлением, накоплением солей в почвах и урожаем сельскохозяйственных культур нет. Режимы орошения, удобрений, агротехника вносят существенные поправки в эти зависимости. Исследование солеустойчивости растений и влияния на них минерализованных вод давали очень разноречивые результаты, зависящие часто от методики постановки опытов. Только постановка опытов на водных и песчаных культурах в какой-то степени отвечала на поставленные вопросы, но полученные результаты не соответствовали таковым

с переходом на полевые опыты. Причинами этого, как стало известно позже, являлись буферность почвы и разные законы распределения солей в почвах, особенно в полевых условиях.

Значение буферности почвы в мелиоративном значении термина было впервые оценено В. А. Ковдой, но детального изучения эта важная категория не получила до настоящего времени. Мелиоративная буферность почвы определяется очень сложным механизмом почвенных, гидрологических, гидрогеологических и геохимических процессов. В их числе известны: изменение диссоциации солей и активности ионов в почвенных растворах; переход части ионов в адсорбированное состояние (поглощение катионов), твердую фазу (в виде солей — карбонатов, сульфатов кальция, магния и др.); поглощение почвенными организмами отдельных компонентов и переход в нерастворимые или газообразные соединения (сульфиды, азотистые, фосфорные соединения и др.); разная степень подвижности в почвенных условиях разных водорастворимых компонентов и разделение их при движении растворов в почвах и грунтах (очень высокая подвижность нитратов, хлоридов, малая подвижность сульфатов, в соответствии с этим происходит дифференциация солей в пространстве); большая мощность зоны вертикального обмена почвенно-грунтовых вод (десятки метров); локализация токсичных солей в ограниченном объеме почвы по закону логнормального и пуассоновского распределения (что способствует как бы самоочищению почвы в большем объеме в результате концентрации солей в меньшем); горизонтальное перераспределение солей и другие еще не раскрытые стороны буферности.

Свойства буферности почв определяют развитие бесконечной цепи качественных изменений как в составе мигрирующих веществ, так и входящих в состав самой почвы малоподвижных веществ. Поэтому анализ явлений и прогноз засоления-рассоления только на количественной основе не может дать удовлетворительных результатов. Именно это обстоятельство оказывалось причиной просчетов в проектировании мер борьбы с засолением почв. Это важно понять, так как собственно научные подходы прогноза движения солей в почвах при орошении находятся в стадии становления и начала развития, хотя многие из сторон мелиоративной буферно-

сти почв давно нашли свое практическое использование в методах управления плодородием орошаемых и засоленных почв.

Многими справедливо отмечалось, что на практике засоление и орошение сосуществуют тысячелетиями. В. А. Ковда писал, что странно не то, что засоление почв в безотточных условиях происходит, а то, что солена-копление происходит медленнее, чем можно было ожидать исходя из баланса солей; так же труднее и медленнее происходит мелиорация засоленных почв, чем это ожидается из расчетов. И хотя практикой найдены эффективные приемы управления состоянием и распределениями солей, наукой еще не в полной мере изучены сущность и механизм буферности, его качественные и количественные формы, чтобы эти знания можно было положить в основу научных разработок управления плодородием орошаемых почв. Необходимость в изучении этих явлений все более возрастает, учитывая усиливающее воздействие человека на природу и ограниченные условия естественного развития процессов в почвах.

Вместе с тем почвоведением накоплен огромный материал, обосновывающий зависимость пространственного и стадийного развития почв и их плодородия от факторов почвообразования (природных и ирригационно-хозяйственных), который должен быть использован при разработке мелиораций и для проверки прогнозов ожидаемых результатов.

Планируя мелиорации на землях и нового, и старого орошения, важно помнить о взаимосвязи почвенных процессов со свойствами почв и условиями окружающей среды, о буферности среды и почв, очень медленной и постепенной перестройке почвенно-мелиоративных процессов.

Ускорение темпов современного мелиоративного строительства еще больше повышает ответственность при принятии решений. Масштабы освоения новых земель под орошение и перестройки старых систем, не отвечающих новым требованиям, все время нарастают, особенно после майского (1966 г.) Пленума ЦК КПСС, наметившего грандиозную программу повышения плодородия земель на базе мелиорации. Выполнение этой программы требует четкого согласования строительных и эксплуатационных мер с природными условиями каждого региона, чтобы наилучшим образом реализовать

преимущества нашего социального и политического строя.

Ошибки в освоении новых земель под орошение в современных условиях именно из-за большого размаха работ имеют трудно преодолимые последствия в развитии сельского хозяйства. Одна из часто повторяемых ошибок на разных объектах — разрыв между строительными и освоительными работами. «Государство вкладывает в мелиоративное строительство большие средства, и если освоение земель отстанет от водохозяйственного строительства, то тем самым будет наноситься урон нашему народному хозяйству... Нужно начинать работу на тех объектах, которые дадут наибольший эффект и быструю отдачу» (из речи тов. Л. И. Брежнева 27 мая 1966 г.)*. Осваивая лучшие земли в первую очередь, надо помнить, что резервы их близки к исчерпанию, и разрабатывать научные основы освоения трудномелиорируемых почв.

---

* «Планы партии по мелиорации воплощаются в жизнь». М., «Колос», 1976, с. 6.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


Аверьянов С. Ф. Некоторые вопросы предупреждения вторичного засоления орошаемых земель и меры борьбы с ним в европейской части СССР.— В сб.: Орошаемое земледелие в европейской части СССР. М., «Колос», 1965.

Антипов-Каратаев И. Н. Мелиорация солонцов в СССР. М., Изд. АН СССР, 1953.

Бабаев А. Г. Оазисные пески Туркменистана и пути их освоения. Ашхабад, «Ылым», 1973.

Базилевич Н. И., Панкова Е. И. Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов.— Бюлл. Почвенного института им. В. В. Докучаева, вып. V. М., 1972.

Балябо Н. К. Повышение плодородия почв хлопковой зоны СССР. М., Сельхозгиз, 1954.

Боровский В. Я., Джамалбеков Е. У., Файзулина А. Х., Молзабеков А. М., Усачев А. Г., Туркова Т. П. Почвы полуострова Мангышлак. Алма-Ата, «Наука». 1974.

Борьба с засолением орошаемых земель. М., «Колос», 1967.

Варуцян Э. Мелиорация засоленных земель. М., «Колос», 1969.

Волобуев В. Р. Расчет промывки засоленных почв. М., «Колос», 1975.

Глухова Т. П. Почвенные процессы при орошении минерализованными водами. Ташкент, «ФАН», 1977.

Грабовская О. А. Процессы рассоления почв и солончаков долин южного Таджикистана при мелиорации. Душанбе, Изд. АН Таджикской ССР, 1961.

Духовный В. А. Борьба с засолением орошаемых земель. Труды I региональной конференции МКИД для стран Азии и Африки. М., ЦБНТИ, 1976.

Егоров В. В. Почвообразование и условия проведения оросительных мелиораций в дельтах Арало-Каспийской низменности. М., Изд. АН СССР, 1959.

Егоров В. В. Горизонтальный дренаж, мелкий или глубокий.— «Хлопководство», 1971, № 8.

Егоров В. В. Почвенно-мелиоративное районирование зоны орошаемого земледелия.— В кн.: Научные основы мелиорации почв. М., «Наука», 1972.

Егоров В. В., Минашина Н. Г. Мотузов В. Я. Электромелиорация гипсоносных солончаков Голодной степи. Изменение плодородия почв при орошении вновь осваиваемых земель.— «Труды Почвенного института им. В. В. Докучаева». М., 1976.

Использование минерализованных вод.— Научные труды ВАСХНИЛ. М., «Колос», 1973.

Ибрагимов Г. А. Использование минерализованных вод на орошение хлопчатника. Ташкент, «ФАН», 1973.

Кац Д. М. Контроль режима грунтовых вод на орошаемых землях. М., «Колос», 1967.

Кац Д. М. Зональность грунтовых вод территории СССР в мелиоративном отношении.— «Труды X международного конгресса почвоведов», Т. X, М., 1974.

Кац Д. М. Влияние орошения на грунтовые воды. М., «Колос», 1976.

Кимберг Н. В. Почвы пустынной зоны Узбекской ССР. Ташкент, «ФАН», 1974.

Киселева И. К. Регулирование водно-солевого режима почв Узбекистана. Ташкент, «ФАН», 1973.

Ковда В. А. Происхождение и режим засоленных почв, т. I. М., Изд. 1946; т. II, 1947.

Ковда В. А., Егоров В. В., Муратов В. С., Строганов Б. П. Классификация почв по степени и качеству засоления в связи с солеустойчивостью растений.— «Ботанический журнал», т. 45, 1960, № 8.

Коньков Б. С. Агрохимические меры борьбы с засолением почв. Ташкент, Госиздат Узбекской ССР, 1948.

Костюченко В. П. Результаты аэровизуального обследования почвенного покрова восточной части Заунгузья.— «Изв. АН Тадж. ССР», 1959, № 2.

Костяков А. Н. Основы мелиораций. Сельхозгиз. 1951.

Лавров А. П. Почвы Заунгузья.— «Проблемы освоения пустынь», 1969, № 1.

Лобова Е. В. Почвы пустынной зоны СССР. Изд. АН СССР. М., 1960.

Легостаев В. М. О строительстве горизонтального дренажа в орошаемых районах.— «Хлопководство», 1971, № 5.

Маргулис В. Ю. О расчетных показателях засоления и солеотдачи почв.— Бюлл. Почв. института им. В. В. Докучаева, вып. V, М., 1972.

Минашина Н. Г. Токсичные соли в почвенном растворе, их расчет и классификация почв по степени засоления.— «Почвоведение», 1970, № 8.

Минашина Н. Г. Орошаемые почвы пустыни и их мелиорация. «Колос», М., 1974.

Минашина Н. Г., Гаврилова Г. К. О сульфатредукции в почвах и подщелачивании почвенных растворов.— Бюлл. Почвенного института им. В. В. Докучаева, вып. IX, М., 1975.

Минашина Н. Г., Градусов Б. П. Минералогический состав ила некоторых пустынных почв.— «Почвоведение», 1973. № 7.

Морозов А. Т. Дренаж в орошаемых районах как регулятор водносолевого режима.— В кн.: Мелиорация почв Кура-Араксинской низменности. М., Изд. АН СССР, 1962.

Морозов А. Т. Теоретический учет особенностей промывок засоленных почв на конусах выноса Ширванской степи.— В кн.: Мелиорация почв Кура-Араксинской низменности. М., Изд. АН СССР, 1962.

Морозов Н. Л., Иванов В. Ф. Орошение на базе подземных вод. М., «Колос», 1968.

Музычук И. Ф. Основные итоги исследования промывок засоленных почв без дренажа в долине р. Мургаба.— «Вестник гидротехники и мелиорации», 1940, № 5.

Музычук И. Ф. Условия применимости и эффективность промывок засоленных почв без дренажа.— «Труды юбилейной сессии, посвященной столетию со дня рождения В. В. Докучаева». М.—Л., 1949.

Муратова В. С., Маргулис В. Ю. Содержание токсичных солей в водных вытяжках и в почвенных растворах гипсоносных почв Голодной степи.— «Почвоведение», 1972, № 12.

Мухамеджанов М. В. Севообороты и углубление пахотного слоя почвы в районах хлопководства. Ташкент, Изд. АН Узбекской ССР, 1962.

Новикова А. В. Прогнозирование вторичного засоления почв при орошении. Киев, «Урожай», 1975.

Орошение и дренаж засоленных почв и их изменение при длительном использовании. М., «Наука», 1967.

Панин П. С. Процессы солеотдачи в промываемых толщах. Новосибирск, «Наука», 1968.

Панков М. А. Процессы засоления и рассоления почв Голодной степи. Ташкент, 1962.

Панков М. А. Мелиоративное почвоведение. Ташкент, «Укитувчи», 1974.

Почвы аридной зоны как объект орошения. М., «Наука», 1968.

Применение дренажа при освоении засоленных почв. М., Изд. АН СССР, 1958.

Проблема засоления почв и водных источников. М., Изд. АН СССР, 1960.

Рабочев И. С. Влияние гипсовых прослоев в почвах Голодной степи на эффективность промывки солончаков.— «Почвоведение», 1949, № 7.

Рабочев И. С. Мелиорация засоленных почв. Ашхабад, Туркмениздат, 1964.

Рачинский А. А. Не противопоставлять, а районировать на основе научного анализа и производственного опыта.— «Хлопководство», 1974, № 9.

Расулов А. М. Почвы Каршинской степи, пути их освоения. Ташкент. «ФАН», 1976.

Розов Л. П. Мелиоративное почвоведение. М., Сельхозгиз, 1936.

Розанов А. Н. Фазы, стадии и типы вторичного засоления почв при орошении.— «Проблемы современного почвоведения», 1946, № 12.

Розанов А. Н. Сероземы Средней Азии. М., Изд. АН СССР, 1951.

Розанов А. Н. Почвенно-мелиоративные исследования земель в целях орошения. Почвенная съемка. М., Изд. АН СССР, 1959.

Рыжов С. Н. Потребность различных культур в орошении.— В кн.: Почвы аридной зоны как объект орошения. М., «Наука», 1968.

Рыжов С. Н. Эффективность удобрений под хлопчатник на засоленных землях.— «Хлопководство», 1970, № 1.

Симоно П., Строганов Б. П., Кабанов В. В., Бернштейн Л. и др. Отношение растений к заболачиванию и засолению.— В кн.: Международное руководство по орошению и дренажу засоленных почв. IX. М., 1966.

Спенглер В. В. Выщелачивание солей при промывке засоленных почв (к вопросу теоретического обоснования промывок). — «Гидротехника и мелиорация», 1950, № 11.

Такыры западной Туркмении и пути их сельскохозяйственного освоения. М., Изд. АН СССР, 1956.

Топалов Г. М., Шерипов Д. Лизиметрические исследования суммарного испарения на посевах хлопчатника в Мургабском оазисе.— «Проблемы освоения пустынь», 1971, № 2.

Туляганов Х. Т. Гидрогеологические основы освоения земель предгорных равнин. Ташкент, «ФАН», 1971.

Успанов У. У. Генезис и мелиорация такыров.— «Труды Почвенного института им. В. В. Докучаева», т. XIX, 1940.

Федоров Б. В. Сущность «теории» неизбежного засоления почв при орошении.— «Почвоведение», 1950, № 2.

Федоров Б. В. Агромелиоративное районирование зоны орошения Средней Азии. Ташкент, Изд. АН Узбекской ССР, 1953.

Федоров Б. В. Причины мелиоративного неблагополучия орошаемых земель и мероприятия по его устранению.— «Известия АН Узбекской ССР», 1955, № 6.

Шаумян В. А. Научные основы орошения и оросительных сооружений. М., Сельхозгиз, 1948.

Шредер В. Р. Почвенно-мелиоративное районирование и расчетные режимы орошения. Автореф. дисс. Ташкент. 1973.

Ферсман Е. А. Материалы исследования группы палыгорскита. Избр. тр. Т. I, М., Изд. АН СССР, 1952.

Schilfgaarde J. van, Asce M., Bernstein L., Rhoades J. D., Rawlins S. L. Irrigation management for salt control Proceedings of the irrigation and Drainage Division Specialty Conference. Colorado. April, 1973.

Whyte R. O. Evolution of Land Use in South—Western Asia. A History of Land Use in Arid Regions. UNESCO, 1961.

Van Alphen J. G., Rios Romero, F. de los. Gypsiferous Soils. Notes on their characteristics and Management. Int., Inst. for Land Reclamation and Impovement. Wageningen, the Nether lands, 1971.

## СОДЕРЖАНИЕ


*Предисловие* . . . . . 3

**Природные условия распространения засоленных почв** . . 5

**Закономерности географического распространения и мелиоративные свойства зональных почв Средней Азии** . . 19

Природные условия формирования зональных почв . . 19
Почвы и их мелиоративные свойства . . . . . 24
Сероземы . . . . . 24
Почвы пустынных равнин . . . . . 29
Почвы антропогенного происхождения и их плодородие 35
Орошаемые почвы и их классификация . . . . . 44
Строение почвенного профиля . . . . . 44
Ряды почв по увлажнению . . . . . 48
Классы оазисных почв . . . . . 56
Типы почв . . . . . 66

**Трудномелиорируемые почвы, условия их развития и причины низкого плодородия** . . . . . 70

Почвы стадии разрушения (опустынивания) . . . . 70
Такыры . . . . . 76
Песчаные пустынные и сероземные почвы . . . . . 86
Гипсоносные почвы, их особенности и почвенно-мелиоративная оценка . . . . . 106
Серо-бурые гипсоносные почвы . . . . . 109
Серо-коричневые гажевые почвы . . . . . 123
Гипсоносные солончаковые (сазовые) почвы . . . 134
Мелиоративные особенности гипсоносных почв . . . 150
Классификация гипсоносных почв . . . . . 157
Солончаки . . . . . 165

**Мелиоративная оценка и регулирование солевого режима при орошении** . . . . . 195

Определение засоления почв при почвенно-мелиоративных исследованиях . . . . . 195
Баланс солей в мелиорируемых почвах . . . . . 202
Классификация почв по степени засоления . . . . . 212
Промывка засоленных почв . . . . . 230
Управление солевым режимом орошаемых почв . . . . 243

*Заключение* . . . . . 260

*Список литературы* . . . . . 264

*Нина Георгиевна Минашина*

МЕЛИОРАЦИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

Редактор Р. А. Антипина
Художественный редактор З. П. Зубрилина
Технические редакторы Л. А. Воронова,
Н. В. Суржева
Корректор В. Л. Непомнящая

**ИБ № 1363**

Сдано в набор 06.04.78. Подписано к печати 04.07.78. Формат 84×108$^{1}/_{32}$. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл.-печ. л. 14,28. Уч.-изд. л. 15,26. Изд. № 219. Тираж 2400 экз. Заказ № 3023. Цена 1 р. 40 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.