УЧЕБНИК

Ф.Р. ЗАЙДЕЛЬМАН

МЕТОДЫ ЭКОЛОГО-МЕЛИОРАТИВНЫХ ИЗЫСКАНИЙ И ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЧВ



КОЛОС

Ф.Р. Зайдельман

МЕТОДЫ ЭКОЛОГО-МЕЛИОРАТИВНЫХ ИЗЫСКАНИЙ И ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЧВ

Рекомендовано Учебно-методической комиссией факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова в качестве учебника для студентов, обучающихся по специальности 020701 и направлению 020700 «Почвоведение»

«КОЛОС»

Москва 2008

УДК 626.8 : 631.4
ББК 40.3
З 12

Рецензенты: Викснэ Альфред Альфредович — председатель Совета Ассоциации организаций водохозяйственного комплекса, советник министра сельского хозяйства Российской Федерации, академик Российской инженерной академии и Российской академии водохозяйственных наук.
Судницын Иван Иванович — профессор кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, доктор биологических наук, академик Российской академии естественных наук, Заслуженный деятель науки Российской Федерации.

З 12 **Зайдельман Ф.Р.** Методы эколого-мелиоративных изысканий и исследований почв. — М.: Колос, 2008. — 486 с.

ISBN 978-5-10-003998-3

В учебнике рассмотрены процессы формирования почв и специальные методы их изысканий и исследований в эколого-мелиоративных целях. Изложены методы изучения их морфологических, физических, химических свойств и режимов для обоснования проектов мелиорации, виды почвенно-мелиоративного и другого картографирования.

Особое внимание уделено оценкам эволюции почв в условиях антропогенного изменения их свойств и режимов, защите почв от деградационных изменений, взаимосвязи способов мелиорации с природными условиями ландшафтов. Для студентов, аспирантов, преподавателей вузов, научных сотрудников и специалистов сельского, лесного и водного хозяйства — почвоведов, агрономов, мелиораторов, экологов, гидрологов, гидрогеологов, геоботаников, фермеров, работников службы земельных органов.

ISBN 978-5-10-003998-3 © Издательство «КОЛОС», 2008

ВВЕДЕНИЕ

Состояние земледелия и эффективность мелиорации почв в значительной мере определяются тем, насколько полно раскрыты свойства и режимы почв в естественном состоянии и их изменения в результате антропогенного воздействия. Впервые на эту проблему обратил внимание основоположник научного почвоведения профессор В.В. Докучаев. В 1875 году в статье «По поводу осушения земель вообще и, в частности, полесья» В.В. Докучаев утверждал, что любое мелиоративное воздействие на водный режим почв должно быть обосновано глубоким гидрологическим анализом территории. По существу эта работа была попыткой выработать систему экологической защиты мелиорируемых почв и ландшафтов.

Позднее, в 1892 году в монографии «Наши степи прежде и теперь», В.В. Докучаевым была сформулирована общая программа мелиорации почв России. Дальнейшее развитие она получила в результате предложенного им «районирования территории страны в зависимости от направления сельскохозяйственного производства». Идея районирования сельскохозяйственных и мелиоративных предприятий была развита В.В. Докучаевым в одной из его последних статей «Природные почвенные зоны. Сельскохозяйственные зоны. Почвы Кавказа» (1898).

В этой работе В.В. Докучаев показал, что почвы предопределяют принципиальный состав мелиоративных мероприятий и таким образом являются непосредственным объектом мелиорации. В частности, рассматривая особенности мелиорации минеральных почв лесной зоны он писал: «здесь ... в тайге среди подзолов минерализация почв и дренаж можно сказать центр тяжести всего сельскохозяйственного производства» (с. 388).

Почвы, несомненно, являются непосредственным и часто единственным объектом сельскохозяйственных и других мелиораций, поскольку их основная задача заключается в оптимизации свойств и режимов верхней толщи рыхлых отложений мощностью 1,5–2,0 м, т.е. горизонтов почвенного профиля.

Это положение в дальнейшем получило отражение в концепции основоположника мелиоративной науки в нашей стране академика

А.Н. Костякова о принципиальных задачах мелиорации. В 1953 г. он писал: «Сельскохозяйственные мелиорации в комплексе с агротехникой имеют задачей повышение плодородия почв, т.е. создание нужного для растений водного и связанного с ним воздушного, питательного и теплового режимов почв. Изменяя водный режим почв, мелиорация влияет на развитие почвообразовательного процесса, на изменение почвенных, климатических и гидрологических условий мелиорируемых территорий в нужном для сельского хозяйства направлении. Воздействуя непосредственно, главным образом, на водный режим, мелиорации оказывают большое влияние на воздушный, тепловой и питательный режим почв, на повышение их плодородия».

Почвы являются экологической средой обитания абсолютного большинства культурных растений, поскольку в профилях почв располагается основная масса корневых систем растений. Это обстоятельство определило название настоящего учебника. В нем систематизированы и изложены специальные методы изучения свойств и режимов, разработанные автором и предложенные другими исследователями, для решения широкого круга эколого-мелиоративных задач. При этом особое внимание уделено методам, которые позволяют быстро и эффективно в полевых и лабораторных условиях раскрыть мелиоративные и экологические особенности почв.

Здесь не ставится задача исчерпывающего изложения всех известных методик изучения почв в эколого-мелиоративных целях. Многие из них получили широкое распространение в специальной литературе и не нуждаются в дополнительном повторении. Это относится, например, к таким методам, как определение гранулометрического и агрегатного состава, актуальной и обменной кислотности, емкости катионного обмена, химическому анализу водных вытяжек и ряду других общепринятых методов анализа почв. Вместе с тем автору практически неизвестна литература, которая раскрывала бы принципы и содержала изложение методов изучения в эколого-мелиоративных целях минеральных гидроморфных, заболоченных, болотных и других переувлажненных почв, несмотря на то, что именно эти почвы играют выдающуюся роль в сельскохозяйственном производстве страны, в значительной мере определяя его развитие. В этой связи уместно отметить, что каждый пятый гектар земли в России образуют торфяные почвы, а из общей площади сельскохозяйственных

земель, использование которых возможно только после их осушения, — от 70 до 95% образовано минеральными заболоченными почвами.

Основная задача учебника — восполнить этот пробел, рассмотреть принципы и реальные подходы к всестороннему изучению почв в эколого-мелиоративных целях. Поэтому здесь, прежде всего сосредоточены сведения, отражающие взаимосвязь способов мелиорации почв с особенностями их генезиса. Генетический подход к оценке условий мелиорации почв актуален потому, что он позволяет связать методы и способы мелиорации почв с природными условиями ландшафта, избежать шаблона при проектировании, строительстве и эксплуатации мелиоративных систем. В целом при изложении материала автор исходил из известного и общепринятого положения о том, что почвы являются зеркалом ландшафта. Они не только непосредственный объект мелиорации, но и связующее звено сложных экологических взаимоотношений между всеми элементами ландшафта — грунтовыми и поверхностными водами, почвообразующими породами, геологической средой, животным и растительным миром.

Особое внимание уделено оценке почв как среды обитания сельскохозяйственных растений, вторичным изменениям почв в результате применения мелиоративных и агрономических мероприятий. Под их влиянием возможно возникновение деградационных изменений, опасно меняющих свойства и режимы мелиорируемых почв. Задача почвоведа заключается в том, чтобы своевременно обнаружить эти опасные тенденции и предотвратить их развитие. Поэтому в учебнике большое внимание уделено прогнозу вторичных, почвообразовательных процессов опасных изменений свойств и режимов почв под влиянием различных способов мелиорации. В учебнике значительные разделы посвящены анализу деградационных изменений мелиорируемых почв — признакам и механизмам деградации, защите почв от негативных изменений.

Внимание читателя сосредоточенно на тщательном изучении в полевых условиях морфологии почв. Такой подход не случаен. При современном уровне знаний почвовед может на основе анализа морфологии почвенного профиля в условиях полевого обследования и картирования судить о стабильности кротовых дрен, опасности закупорки пластмассовых и керамических дренажных труб оксидами железа и возможности выхода из строя мелиоративных систем, переуплотнении почв, экономической эффективности дренажа, особенностях режима грунтовых вод и их химическом составе,

целесообразности осушения минеральных почв разной степени заболоченности при различном использовании, решать другие важные эколого-мелиоративные задачи.

Существенное внимание в учебнике уделено вопросам методики полевых почвенно-мелиоративных изысканий, составлению различных почвенно-мелиоративных, комплексных почвенно-мелиоративных и геологических карт, ботанико-культуртехнических и других карт, необходимых для обоснования проектов мелиорации, мелиоративного строительства и эксплуатации мелиоративных систем. Наконец, следует отметить, что в этом учебнике сведения о почвообразовательных процессах, региональных приёмах мелиорации почв, конструктивных особенностях мелиоративных систем и способах мелиорации изложены в сжатой форме, без детального рассмотрения этих вопросов. Вместе с тем у заинтересованного читателя может возникнуть необходимость их более полного изучения. Такие сведения, в частности, могут быть получены из двух следующих учебников для университетов и сельскохозяйственных вузов, опубликованных автором в последние годы: «Мелиорация почв». М.: Изд-во МГУ, 2003 3-е издание и «Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов». М.: Изд-во МГУ, 2008.

Основное внимание в этом учебнике сосредоточено на изложении методов изучения почв гумидных ландшафтов, что обусловлено современными географическими границами страны. В меньшей мере здесь уделено внимание методам эколого-мелиоративной оценки почв сухостепной и аридной зон. Значительная методическая литература, опубликованная в последние десятилетия по этим вопросам, позволяет ограничиться в этих случаях необходимыми ссылками.

Настоящий учебник содержит сведения о методах изучения почв в эколого-мелиоративных целях. Он написан впервые. Учебник может быть полезным не только для студентов, аспирантов и преподавателей вузов, но и для широкого круга работников, связанных с использованием почв в сельскохозяйственных, лесохозяйственных и водохозяйственных целях — почвоведов, агрономов, экологов, гидротехников и мелиораторов, геоботаников гидрологов и гидрогеологов, фермеров, работников служб земельных органов.

Автор будет признателен тем читателям, которые сочтут полезным направить на имя автора свои предложения по улучшению содержания учебника по адресу:

119992, Ленинские горы, МГУ им. М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, кафедра физики и мелиорации почв.

Автор приносит глубокую благодарность академику Российской инженерной академии, председателю Совета ассоциации организаций водохозяйственного комплекса, советнику министра сельского хозяйства РФ А.А. Викснэ и академику Российской академии естественных наук, Заслуженному деятелю науки РФ, доктору биологических наук, профессору МГУ им. М.В. Ломоносова И.И. Судницыну, рецензентам этого учебника, за внимание к работе и полезные замечания.

Автор признателен профессорам факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова Е.В. Шеину, Л.А. Воробьёвой и А.С. Никифоровой за организационную поддержку этой работы и методическую помощь.

Глава 1
Почвы как объект мелиорации

1.1. Автоморфные и гидроморфные почвы

При изучении почв гумидных ландшафтов в связи с мелиорацией основное внимание изыскателя и исследователя должно быть сосредоточено на анализе свойств и режимов рыхлых поверхностных почвенных горизонтов мощностью до 1,5–2,0 м. Поэтому, прежде всего, следует остановиться на оценке почв как объекта мелиорации. В целом почвенный покров можно подразделить на две важные и весьма самостоятельные в мелиоративном отношении группы — автоморфные и гидроморфные почвы.

Автоморфные почвы не испытывают длительного застоя влаги в горизонтах почвенного профиля (условно в толще верхних 1,5 м) и не несут устойчивых признаков гидроморфизма. К автоморфным относятся преимущественно зональные типы почв умеренного пояса — выщелоченные черноземы, серые, бурые, дерново-карбонатные, рижковые почвы, а также подбуры высоких широт, отличающиеся хорошей дренированностью, пойменные дерновые зернистые и слоистые неоглеенные и другие почвы. Эти почвы успешно могут быть использованы в сельском и лесном хозяйствах без устройства дренажа, а для улучшения их водного режима достаточно применения агротехнических, агромелиоративных мероприятий и орошения.

Обширная группа *гидроморфных* почв, то есть почв, формирование которых сопровождается застоем влаги и появлением в их профиле отчетливых признаков гидроморфизма, естественно распадается на две группы гидроморфных почв — минеральные и органогенные.

Минеральные гидроморфные почвы несут устойчивые признаки гидроморфизма в виде холодной окраски горизонтов, возникающей при оглеении, специфических Fe-Mn, Fe, гумус-Al и карбонатных новообразований, накопления грубого гумуса или оторфования, аккумуляции солей и гидроксидов железа. Эти почвы характеризуются периодическим или постоянным насыщением влагой отдельных горизонтов или всего профиля и формируются в условиях нормального

или повышенного увлажнения в результате поступления вод различного происхождения.

Нормальным называют *увлажнение,* при котором почва получает влагу только в виде осадков в количестве, не превышающем их сумму, свойственную для климата данной местности. Почвы повышенного увлажнения отличаются поступлением дополнительной влаги сверх этой нормы.

Минеральные гидроморфные почвы далеко не всегда несут устойчивые морфохроматические (цветовые) признаки оглеения. Цветовые признаки оглеения, таким образом, являются весьма распространенным, но не исключительным морфологическим признаком этих почв. Так, в зоне Силурийского плато на карбонатных моренных отложениях с высоким содержанием извести широко представлены минеральные гидроморфные почвы, не несущие четких морфохроматических признаков оглеения, но отличающиеся длительным обводнением в теплый период, накоплением в поверхностных слоях грубого гумуса и их заметным оторфованием.

Минеральные гидроморфные почвы, особенно на начальных этапах проявления признаков гидроморфизма, можно успешно использовать в сельском и лесном хозяйстве без устройства дренажа. Нередко на таких почках могут быть получены более высокие урожаи сельскохозяйственных культур, чем на автоморфных, не несущих четких признаков гидроморфизма. Поэтому в обширной группе минеральных гидроморфных почв следует выделить заболоченные почвы, являющиеся наиболее частым объектом мелиорации в Нечерноземной зоне. *Заболоченными* следует называть такие минеральные гидроморфные почвы, в которых анаэробный период, обусловленный длительным застоем влаги, столь продолжителен, что затрудняет или вообще исключает рост и развитие сельскохозяйственных культур. Поэтому заболоченные почвы непригодны для сельскохозяйственного использования без проведения мероприятий по удалению избыточной влаги. К заболоченным почвам с максимальной мощностью торфа относят такие почвы, у которых органогенный горизонт до осушения не превышает 30 см, а после осушения — мощность пахотного слоя.

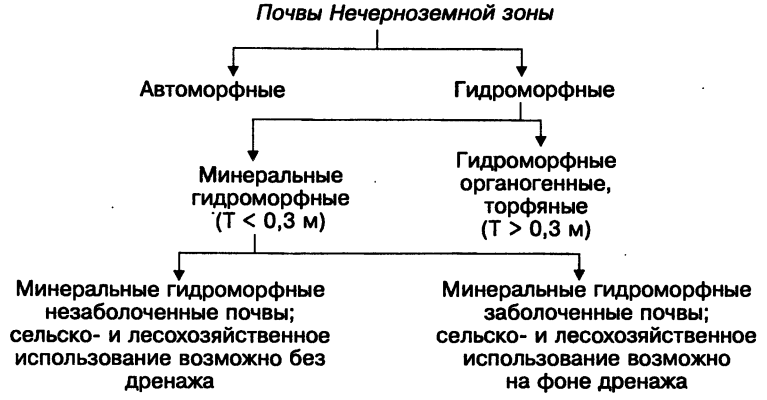
Все *органогенные почвы,* то есть почвы, имеющие мощность горизонта $T > 30$ см, являются гидроморфными и их сельско- или лесохо-

зяйственное использование невозможно без предварительного осушения[1].

Схема рассмотренной группировки почв приведена в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Схема группировки почв Нечерноземной зоны по их увлажнению в мелиоративных целях



Из трех типов органогенных почв — верхового, переходного и низинного для использования в сельском хозяйстве пригодны, главным образом, низинные торфяные почвы Верховые и переходные торфяные почвы из-за кислой реакции, значительной влагоемкости, низкой степени разложения, высокой стоимости освоения не следует вовлекать в осушение и сельскохозяйственное использование. Исключение составляют лишь высокозольные торфяные переходные почвы двух регионов страны — Карелии и Камчатки. В первом случае их высокая зольность обусловлена интенсивным заилением торфа в результате эрозии возвышенных территорий, окружающих болота; во втором — пеплопадом при извержении вулканов.

1.2. Причина и признаки почвенного гидроморфизма; почвообразовательные процессы

Определяющим фактором возникновения гидроморфных почв (минеральных и торфяных) является переувлажнение. Под п е р е-

[1] За исключением массивов верховых и переходных болот, которые целесообразно использовать в естественном состоянии для сбора клюквы, голубики, лекарственных и других растений.

увлажнением почв следует понимать такое их состояние, которое наступает при влажности выше предельной полевой влагоемкости (состояние, близкое к нижнему пределу текучести или выше этого предела). При этом, однако, возможно возникновение трех принципиально различных ситуаций.

Во-первых, переувлажнение может происходить в аэробных условиях. Например, если в почвообразующей породе или в горизонте почв нет органического вещества, способного к ферментации, или если почвы переувлажнены пресными водами, обогащенными кислородом. Такие условия могут иметь место в горах при таянии снега, ледников и т.п. В этих случаях возможны изменения физических свойств почв, например набухание твердой фазы или ее усадка, но при этом морфологические и химические свойства будут оставаться весьма стабильными. Почва или порода не несут признаков изменения морфологии. Они переувлажнены, но не гидроморфны. Этот вариант, однако, не имеет широкого распространения.

Во-вторых, переувлажнение пресными водами возможно в присутствии органического вещества. В этом случае оно сопровождается интенсивным анаэробиозом. В результате изменяются не только физические, но и химические свойства твердой фазы. В анаэробных условиях в подвижное состояние переходят железо, марганец, кальций, магний, алюминий, фосфор, другие элементы и соединения. Следствием этого является изменение морфологических, минералогических, физических и других свойств почв и пород [Зайдельман, 1992, 1998]. Таким образом, только в этом весьма распространенном случае переувлажнение сопровождается адекватными изменениями их морфологии. Такие почвы и являются собственно гидроморфными. Они не только переувлажнены (кратковременно, длительно или постоянно), но и обладают вполне очевидными признаками гидрологического воздействия на минеральный субстрат в анаэробных условиях.

В-третьих, возникновение переувлажнения и формирование признаков почвенного гидроморфизма может происходить под влиянием близко залегающих к дневной поверхности ожелезненных и засоленных грунтовых вод. Результатом этого является возникновение в горизонтах почвенного профиля гидрогенных железистых (гидроксидных) и солевых аккумуляций. Этот процесс гидрогенной аккумуляции оксидов и солей осуществляется преимущественно при

наличии органического вещества, способного к ферментации. В любом случае в профиле таких почв формируются отчетливые признаки гидроморфизма в виде характерных горизонтов, обогащенных гидроокисью железа или водорастворимыми солями. Первые возникают в профилях почв лесной зоны, вторые — в гидроморфных почвах степной, полупустынной и пустынной зон. Таким образом, признаки почвенного гидроморфизма весьма разнообразны. Их появление обусловлено рядом факторов. Однако важнейшим, как правило, оказывается переувлажнение почв в анаэробной среде. Поэтому к признакам почвенного гидроморфизма в целом следует относить:

1) холодную (синеватую, сизую, голубовато-сизую, белесовато-серую) окраску оглеения горизонтов почвенного профиля и кутан;
2) черную окраску сульфидных горизонтов;
3) конкреционные и неконкреционные новообразования железистого, марганцево-железистого, гумусово-алюминиевого, карбонатного, сульфатного, хлоридного составов, возникновение которых связано с влиянием различных факторов переувлажнения — грунтовых, напорных, атмосферных, склоновых и русловых вод;
4) торфяные горизонты, образованные в условиях субаквального водного режима;
5) подзолистые горизонты и кремнеземистая белесая присыпка (скелетаны);
6) аккумуляции грубого гумуса и перегноя (рис. 1.1).

Следует подчеркнуть, что возникновение этих признаков гидроморфизма возможно только в анаэробных условиях, обусловленных переувлажнением разной продолжительности [Зайдельман, 1998]. Поэтому, в частности, сухоторфяные горизонты почв тундры и лесотундры, возникновение которых связано с морозной консервацией растительных остатков, не следует рассматривать как признак гидроморфизма.

В зависимости от окислительно-восстановительных условий, генезиса и состава почвообразующих пород и вод следствием переувлажнения оказываются различные процессы [Зайдельман, 2003]. К ним относятся:

1) гидратация в аэробных условиях, не вызывающая изменения химических свойств и морфологии твердой фазы;
2) торфообразование;
3) глееобразование;

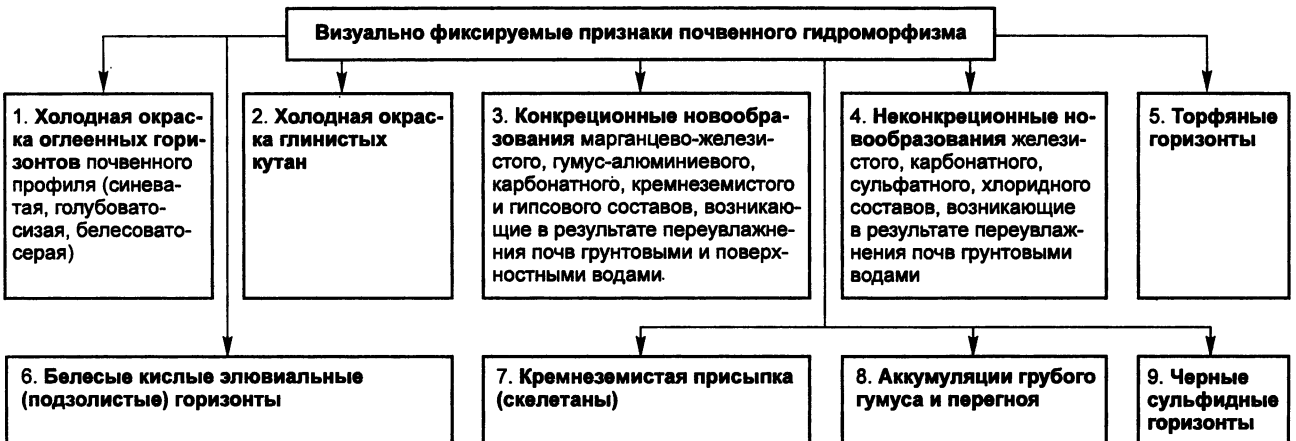


Рис. 1.1. **Признаки гидроморфизма в минеральных и органических почвах**

4) сульфатредукция;
5) гидрогенная аккумуляция оксидов (главным образом, железа и марганца);
6) соленакопление (рис. 1.2).

В прикладном отношении актуально, однако, то, что присутствие признаков переувлажнения далеко не всегда свидетельствует о негативном влиянии переувлажнения на продуктивность сельскохозяйственных культур. Существует определенная группа почв, несущих четкие признаки гидроморфизма и вместе с тем обладающих вполне благоприятными условиями для роста и развития растений, для получения близких или более высоких в сравнении с автоморфными почвами урожаев. Вместе с тем на значительных площадях сельскохозяйственные культуры на гидроморфных почвах испытывают угнетение. Поэтому выше обращалось особое внимание на то, что из общей группы гидроморфных почв необходимо выделить *заболоченные почвы*, т.е. такие гидроморфные минеральные почвы, в которых застой гравитационной влаги любого происхождения столь продолжителен, что вызывает угнетение или гибель сельскохозяйственных или лесохозяйственных растений [Зайдельман, 1984, 1985, 1991].

В равной мере эти положения относятся и к засоленным почвам. Именно заболоченные почвы привлекают особое внимание при организации земледелия и лесного хозяйства, поскольку в этом случае необходимо регулирование их водного режима с помощью мелиоративных и агромелиоративных мероприятий. Они требуют дополнительных и нередко весьма значительных инвестиций. Такие почвы являются важным резервом повышения продуктивности сельскохозяйственного производства.

В разных регионах Нечерноземной зоны России заболоченные почвы образуют от 70 до 95% площади земель, сельскохозяйственное использование которых возможно после их мелиорации. Остальные 5–30% занимают постоянно переувлажненные торфяные почвы, преимущественно низинных болот.

Таким образом, гидроморфные почвы представляют сложную широко распространенную группу почв, которые отличаются не только по своему генезису, составу и климату, но и по степени заболоченности. Степень заболоченности почв — понятие агроэкологическое. Оно отражает устойчивость растений к переувлажнению и целесообраз-



Рис. 1.2. **Современные процессы почвообразования, обусловленные переувлажнением**

ность мелиорации почв при их различном сельскохозяйственном использовании. Дифференциация гидроморфных почв по степени заболоченности является необходимым условием их рационального и альтернативного использования в земледелии и лесном хозяйстве, целесообразного применения мелиоративных мероприятий Принципы такой дифференциации, основанной на эколого-гидрологическом и эколого-экономическом подходах, и классификация почв по степени заболоченности рассмотрены ниже.

1.3. Причины заболачивания почв

Под *причиной заболачивания* понимают такой гидрологический фактор (факторы), который вызывает длительный анаэробиоз, обусловленный застоем воды в горизонтах почвенного профиля. Он приводит к угнетению или гибели сельскохозяйственных культур, возникновению характерных признаков почвенного гидроморфизма, ухудшению условий проведения сельскохозяйственных работ. Устранение этих причин с помощью гидротехнических, агромелиоративных и других мероприятий создает благоприятные условия для роста и развития сельскохозяйственных культур и выполнения полевых работ.

В условиях Нечерноземной зоны заболоченные и болотные почвы, входящие в обширную группу гидроморфных почв, формируются под влиянием главным образом пяти гидрологических факторов — атмосферных, намывных склоновых, намывных русловых, грунтовых и грунтово-напорных вод (рис 1 3). Эти факторы являются вместе с тем и причинами заболачивания почв В мелиоративном отношении диагностика причин заболачивания почв представляет существенный интерес, поскольку они определяют *метод осушения*, т.е. принципиальную направленность мелиоративных мероприятий. Кроме этих, следует назвать еще две причины заболачивания почв — биогенное заболачивание суши и зарастание водоемов Диагностика каждого из этих семи факторов в полевых условиях имеет важное прикладное значение.

На территории Нечерноземной зоны наблюдается определенная зональность причин заболачивания Так, на севере зоны в холодном поясе возникновение гидроморфных почв связано исключительно с влиянием осадков, вызывающих формирование надмерзлотной вер-

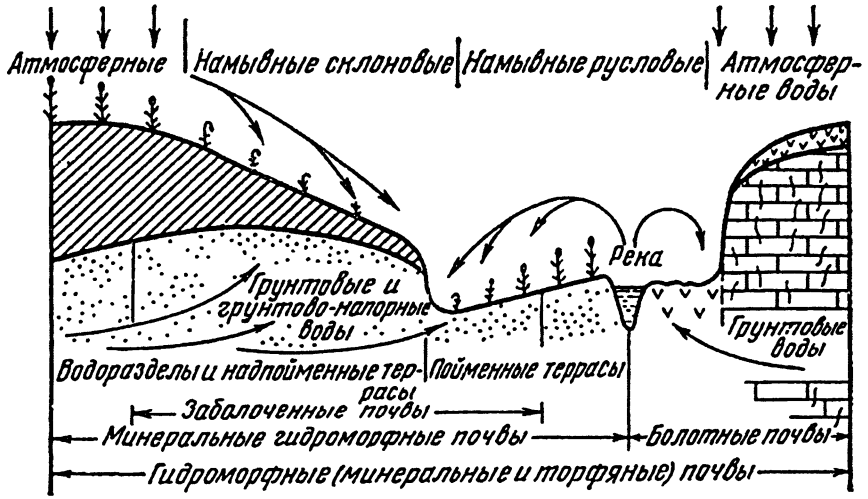


Рис. 1.3. **Причины заболачивания почв**

ховодки. В умеренно-теплом поясе в пределах огромных зандровых равнин доминируют гидроморфные почвы, возникшие под влиянием грунтовых вод На моренных, озерно-ледниковых, пермских, покровных суглинках и глинах водоразделов преимущественно распространены почвы, заболоченные намывными склоновыми водами. В лесостепной зоне заболачивание почв связано главным образом с выклиниванием грунтовых и напорных вод в поймах рек.

Причины заболачивания почв тесно связаны с геологическим и геоморфологическим строением территории, растительным покровом

1.3.1. Признаки заболачивания почв грунтовыми и напорными водами

Учитывая сложившиеся представления, *грунтовыми* следует называть такие подземные воды, которые приурочены к водоносным горизонтам, формируются в пределах обширного массива или вне рассматриваемой территории и имеют обычно весьма устойчивый дебит (рис 1 4, *а*) В отличие от поверхностных вод в условиях гумидных ландшафтов Нечерноземной зоны они обычно характеризуются незначительными колебаниями уровней в теплый период

Грунтовые воды образуют первый от поверхности земли постоянный водоносный горизонт, залегают в водоносном слое, обычно не перекрытом водоупорной кровлей, и ненапорны Грунтовые воды

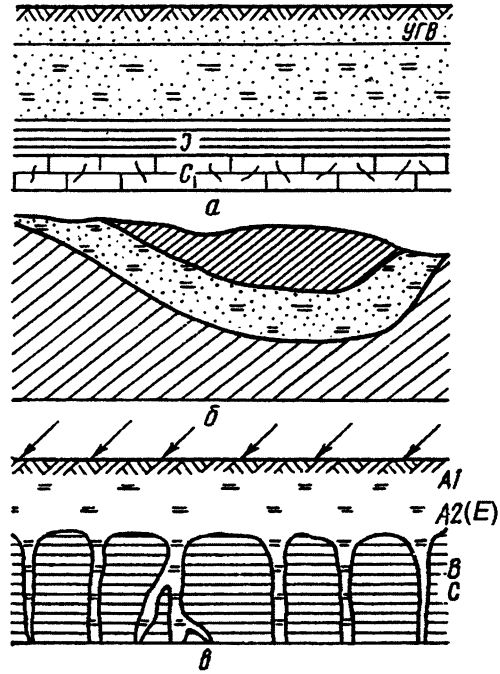


Рис. 1.4. **Схема формирования грунтовых (*а*), напорных вод (*б*) и верховодки (*в*)**

ледниковых отложений — межморенных и подморенных горизонтов — могут обладать незначительным напором.

Напорные воды артезианских бассейнов обычно приурочены к синклинально залегающим свитам пластов; их водоносные горизонты всегда перекрыты водоупорными породами (рис. 1 4, *б*). В областях *питания, напора* и *разгрузки,* напорные воды могут находиться в связи с грунтовыми водами

В отличие от грунтовых вод *верховодка* (рис 1 4, *в*) приурочена к горизонтам почвенного профиля, залегает на местных водоупорных слоях (на иллювиальных, глеевых горизонтах, мерзлотных слоях, глинистых прослоях и др) Верховодка не имеет заметного водосбора и формируется локально в результате выпадения осадков или снеготаяния Верховодка, как правило, не минерализована, ее уровень подвержен резким колебаниям, она способна быстро исчезать под влиянием погодных факторов Верховодка приурочена к относительно водопроницаемым структурным или легким и к плохо водопроницаемым суглинистым и глинистым горизонтам почвенного профиля, размещаясь в трещинах и крупных порах

Верховодка формируется при заболачивании почв атмосферными, намывными склоновыми и русловыми водами. Подробнее этот случай заболачивания рассмотрен ниже.

Проходя через толщу рыхлых или сильно трещиноватых отложений, грунтовые и напорные воды в местах выклинивания разгружаются от ранее выщелоченных и растворенных соединений. Поэтому аккумуляция в почвах различных солей часто является надежным диагностическим признаком заболачивания почв грунтовыми, грунтово-напорными или напорными водами.

В районах гумидного климата в зонах грунтового заболачивания откладываются обильные скопления окиси железа, карбонатов кальция и магния, реже гипса.

Железистые соединения часто возникают в почвах в тех случаях, когда водосборная площадь бассейна образована песчаными почвогрунтами и особенно когда подземые воды мигрируют по породам, содержащим сульфиды, карбонаты и гидроокиси железа (например, юрские глины).

Фильтруясь через такие почвогрунты, осадки в условиях господствующих на этой территории подзоло- и глееобразования, растворяют пленки окиси железа и в виде закисных железоорганических и минеральных солей приносят эти соединения в грунтовый поток. В зонах аэрации эти формы двухвалентного железа подвергаются интенсивному окислению и выпадают в осадок в виде гидроокиси железа. При последующей дегидратации в местах скопления гидроокиси формируются прослойки болотной руды, нередко достигающие большой мощности (нескольких дециметров).

Аккумуляция карбонатов в виде болотного мергеля, туфа и других соединений происходит в тех случаях, когда грунтовые или напорные воды проходят сквозь толщу трещиноватых известняков или рыхлых четвертичных отложений, обогащенных обломками известняковых пород. В этом случае подземные воды транспортируют кальциевые и магниевые соли в виде бикарбонатов, которые удерживаются в растворе лишь при высокой концентрации свободной углекислоты. В зонах разгрузки этих вод происходит резкое уменьшение парциального давления углекислоты; бикарбонаты переходят в карбонаты и выпадают в осадок.

Поэтому в почвах, заболоченных грунтовыми и напорными водами, возникают своеобразные карбонатные новообразования, имею-

щие важное диагностическое значение при мелиоративных изысканиях и исследованиях.

Почвы, заболоченные грунтовыми водами, развиваются под покровом специфической растительности. Так, в зоне южной тайги в притеррасных депрессиях широко распространены сообщества черной ольхи, ивы и березы. На ольховых коблах произрастает таволга вязолистная, черная смородина, крапива жгучая. Деревья часто обвиты хмелем. Между коблами осока дернистая, острая и другие образуют редкие кочки значительной высоты, а в сильно обводненных участках — сабельник болотный, вахта трилистная, калужница болотная, белокрыльник болотный, манник наплывающий, осоки пузырчатая, ложносытевидная. Этот растительный покров обычно приурочен к минеральным «икрянным» почвам ольховых топей, а также к хорошо разложившимся высокозольным торфам, обогащенным элементами зольного и азотного питания.

При заболачивании менее минерализованными грунтовыми водами часто поселяются березово-травяные сообщества и сообщества крупных кочкарных осок. На осоковых кочках растет вероника длиннолистная, вербейник обыкновенный, валериана лекарственная. В этом сообществе наряду с высокорослым разнотравьем поселяются тростник обыкновенный и различные виды вейника.

Тростниковые сообщества, образованные тростником, рогозом широколистным и узколистным, камышом озерным, обычно приурочены к участкам с проточной водой.

В местах выклинивания жестких грунтовых вод поселяются гипново-моховые сообщества; в условиях заболачивания мягкими водами на болотных почвах — осоково-гипновые и гипново-осоковые, на минеральных — влажные сообщества белоуса, сообщества мелких осок и др.

Следует, однако, подчеркнуть, что растительность не является исключительным индикатором причин заболачивания, так как нередко в условиях различного заболачивания встречаются близкие ассоциации и в однородных условиях — различные сообщества.

1.3.2. Признаки заболачивания почв атмосферными и намывными склоновыми водами

Атмосферные и намывные склоновые воды поступают непосредственно на рассматриваемую территорию или проходят относитель-

но короткий путь по поверхности водосбора. Их химический состав и количество влекомого мелкозема определяются величиной, составом пород и характером водосбора.

Водный режим почв, заболоченных атмосферными и намывными склоновыми водами, отличается выраженной сезонной цикличностью. Их обильная обводненность во время выпадения осадков и весеннего снеготаяния сменяется резким падением уровня верховодки или ее полным исчезновением в засушливый период. Почвы, заболоченные атмосферными и намывными склоновыми водами, обычно приурочены к массивам, образованным породами суглинистого гранулометрического состава. Вместе с тем почвы с таким заболачиванием могут быть приурочены к породам с двучленным строением (верхний легкий нанос песчаного или супесчаного гранулометрического состава подстилается кислыми, карбонатными моренными или покровными суглинками и глинами). Наконец, на севере в холодном поясе надмерзлотная верховодка может формироваться в почвах, приуроченных к любым породам. Генезис этих почвообразующих пород различен. Севернее границы Валдайского оледенения широко распространены карбонатные и реже кислые тяжелые моренные и озерно-ледниковые отложения; южнее, в зоне Московского оледенения — преимущественно кислые покровные лессовидные и моренные суглинки и глины.

В Приуралье, на востоке Нечерноземной зоны почвы, заболоченные поверхностными, преимущественно намывными склоновыми водами, формируются на суглинистом и глинистом элювии карбонатных пермских пород. Широкое распространение в срединной части зоны получили почвы, приуроченные к флювиогляциальным пескам, подстилаемым на небольшой глубине моренными суглинками. Небольшие участки заболоченных почв такой литологии встречаются и несколько южнее этой линии.

Формирование и развитие почв под влиянием поверхностного заболачивания протекают под покровом малотребовательных к условиям зольного питания растительных ассоциаций — злаково-разнотравно-мелкотравных, влажных мелкоосоковых, осоково-вейниковых и др.

В сухие годы минеральные почвы, заболоченные поверхностными водами, нередко распахиваются. В этом случае происходит исчезновение естественной растительности, и о заболачивании почв

можно судить лишь по поселяющейся здесь влаголюбивой сорной растительности. Относительно устойчивыми индикаторами, указывающими на заболоченность пашен, являются горец шероховатый, мокрица, мятлик болотный, тростник обыкновенный.

Низинные болота, возникающие под влиянием атмосферных и намывных вод, встречаются на внепойменных пространствах и покрыты осоковой, осоково-вейниковой, вейниковой и гипново-осоковой растительностью.

Переходные болота, приуроченные преимущественно к водораздельным территориям, формируются под покровом осоково-сфагновой и сфагново-осоковой растительности.

Растениями-торфообразователями верховых болот обычно являются сфагновые мхи. В небольшом количестве встречаются мелкие осоки, пушица влагалищная, морошка. Древесная растительность представлена болотными формами сосны и березы.

1.3.3. Признаки заболачивания почв намывными русловыми водами

Внешне заболачивание почв намывными русловыми (полыми) водами имеет некоторые общие признаки с заболачиванием почв атмосферными и склоновыми водами. Такие почвы характеризуются тяжелым гранулометрическим составом, а верховодка и в этом случае подвержена резким колебаниям. Однако в отличие от атмосферных и склоновых намывные русловые воды проходят значительный путь по водосборному бассейну и руслу реки, обогащаясь массой смытого с поверхности водораздельных почв мелкоземистого материала и растворенных соединений.

Поэтому среди пойменных почв, заболоченных намывными русловыми водами, значительно чаще встречаются нейтральные или слабокислые почвы, чем на водоразделах. В поймах северных рек широкое распространение получают в различной мере заболоченные светло-бурые, а в средней и южной части тайги и лесостепной зоне — бурые, темно-бурые и серые в разной степени заболоченные зернистые почвы. Как правило, после осушения именно эти почвы являются наилучшими для пастбищ, лугов и возделывания овощных культур. Кроме этих почв, обычно доминирующих в поймах, здесь встречаются иловато-глеевые (реже слитные). Перечисленные почвы настолько специфичны для пойм, что их правильно установленный генезис слу-

жит лучшим показателем заболачивания намывными русловыми водами.

Кроме этого признака, на заболачивание почв русловыми водами указывает литология профиля, их растительный покров, геоморфологическая приуроченность. Случаи рассматриваемого заболачивания приурочены только к пойменной террасе речной долины и наиболее часто встречаются в центральной ее части. Влияние намывных русловых вод на почвообразование настолько значительно, что среди почв, заболоченных водами этого типа, почти не встречаются оподзоленные разновидности. Профиль дерновых зернистых почв, заболоченных поверхностными водами, образуют обычно хорошо оформленные агрегаты, сохраняющие свою форму даже при интенсивном оглеении. Эти почвы в отличие от почв водораздельных пространств, заболоченных склоновыми и атмосферными водами, обладают относительно высокой водопроницаемостью неоглеенных и глееватых горизонтов, значительной водопрочностью агрегатов Относительно высокая водопроницаемость этих почв объясняет то обстоятельство, что в почвах центральной поймы начальные стадии заболачивания проявляются прежде всего в оглеении не верхних, а глубоких слоев почвенного профиля. В субаквальных условиях на наиболее пониженных участках поймы формируются иловато-глеевые слитые почвы. Им свойственна уплотненность всех горизонтов, дезагрегированность и очень низкая водопроницаемость.

Болотные почвы, формирующиеся под влиянием русловых вод, занимают относительно небольшие площади и представлены преимущественно низинными, часто древесными и осоково-древесными высокозольными торфяниками.

Почвы, заболоченные намывными русловыми водами, развиваются под покровом травянистой растительности, образующей на плоских участках поймы злаково-осоковые и злаково-разнотравные ассоциации с преобладанием щучки дернистой, полевицы белой и собачьей, овсяницы красной, лисохвоста лугового и коленчатого, гравилата речного, таволги вязолистной, осоки обыкновенной, заячьей и др.

Луга низкого уровня, заболоченные намывными русловыми водами, образованы крупнозлаковыми и крупнозлаково-осоковыми сообществами, травостой которых формируют канареечник тростниковидный, бекмания гусеницевидная, мятлик болотный, манник водяной, осоки острая, лисья, вейник ланцетный и др.

Реже на почвах, длительно заболоченных русловыми водами, поселяются крупноосоковые ассоциации

1.3.4. Признаки болотных почв, возникающих в результате зарастания водоемов

Характерным топографическим признаком болотных массивов, возникающих в результате зарастания водоемов, являются их овальная форма, повторяющая форму открытого водоема Наиболее часто болота подобного генезиса приурочены к водораздельным пространствам и гораздо реже встречаются в поймах, несмотря на значительное распространение в этих условиях озер старичного происхождения

Ниже приведены основные диагностические признаки, которые позволяют в поле установить возникновение торфяных почв в результате зарастания водоемов

Заболачивание водоемов происходит в результате их зарастания или нарастания (образование сплавин). Первый случай свойствен водоемам с пологими берегами Растения-торфообразователи формируют концентрические пояса Наиболее глубокие участки занимают зеленые, сине-зеленые и диатомовые водоросли (рис. 1.5), далее следует пояс растений, полностью погруженных в воду, — роголистник погруженный, узколистые рдесты (*б*). Третий пояс образуют широ-

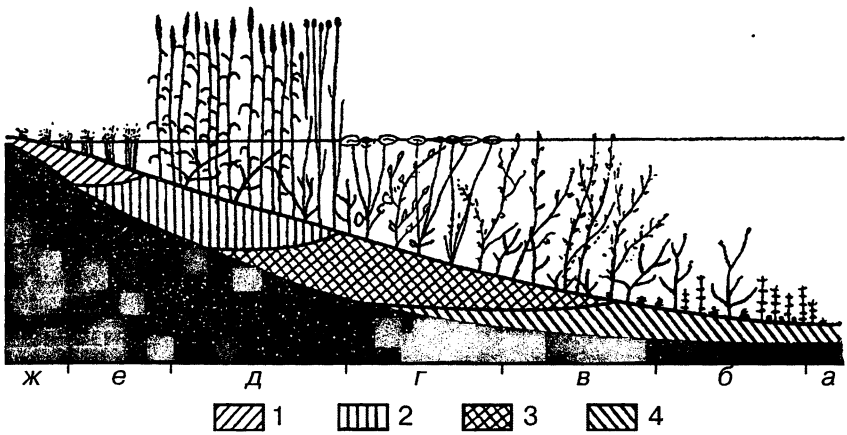


Рис. 1.5. **Заболачивание в результате зарастания водоема (по В.Н. Сукачеву): *1* — осоковый торф; *2* — тростниковый торф с примесью камыша; *3* — торфянистый сапропель; *4* — смешанно-водорослевый сапропель (пояснения в тексте)**

колиственные рдесты (*в*), четвертый — водяные лилии (*г*) и далее пояс камышей и тростника, высоко поднимающихся над водной поверхностью (*д*). Шестой пояс представлен крупными осоками (*е*), седьмой — непосредственно у берега — мелкими осоками (*ж*).

Каждый пояс растений откладывает на дне водоема органические остатки специфического ботанического состава. Заполняя водоем, эти пояса центростремительно сдвигаются, в результате чего происходит постепенное погребение торфа предшествующего пояса растительными остатками вновь поселяющихся поясов. На дне водоема, особенно в его центральной части, оседает большое количество отмерших животных и растительных организмов, образующих планктон.

Эти остатки, смешанные с минеральными частицами, формируют плотную студенистую массу — *сапропель*. Наличие сапропеля под слоем торфяника, чередование слоев торфа, которые полностью или частично соответствуют чередованию вышеперечисленных поясов растений-торфообразователей, является безусловным показателем возникновения рассматриваемого болота в результате зарастания водоема. Такие болота, как правило, относятся к низинному типу.

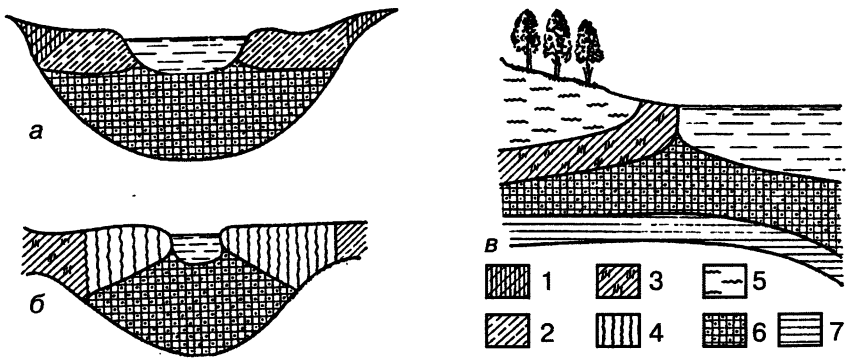


Рис. 1.6. **Заболачивание водоема в результате нарастания сплавин (по С.Н. Тюремнову): *а* — образование сплавин при зарастании водоемов с относительно минерализованными водами; *б* — то же, при зарастании водоемов с мягкими слабоминерализованными водами; *в* — то же, при зарастании водоемов с неминерализованными водами; *1* — древесно-осоковый; *2* — осоково-ситниковый низинный; *3* — осоково-шейхцериевый; *4* — тростниковый; *5* — сфагновый (магелланикум) торф; *6, 7* — смешанно-водорослевый и глинистый сапропель**

В тех случаях, когда берега водоема круты и достаточно хорошо защищены от ветров, происходит нарастание на открытую поверхность мохового покрова из зеленых мхов или некоторых видов сфагнума (если воды бедны известью и слабо минерализованы), поселение на моховом покрове осок, вахты трилистной, шейхцерии болотной и др. (рис. 1.6).

В дальнейшем на таком растительном ковре развиваются болотные кустарнички. Сплавина, уплотняясь и разрастаясь, покрывает водную поверхность. При сплавинном образовании болотам свойственны «окна» — небольшие участки открытой водной поверхности. Отмирая и опускаясь на дно, растительные остатки формируют относительно однородную по ботаническому составу торфяную толщу, которая достигает нередко значительной мощности. В этом случае могут формироваться как низинные, так и верховые болота различного ботанического состава.

1.3.5. Признаки биогенного заболачивания почв

Почвы этого типа заболачивания приурочены исключительно к водораздельным пространствам Нечерноземной зоны в районах широкого распространения подзолистых почв. Интенсивное развитие подзолообразования на кислых почвообразующих породах является причиной формирования почв, бедных элементами зольного и азотного питания. Поэтому плотнокустовые злаки, поселившиеся вначале на этих почвах, быстро сменяются менее требовательными растительными группировками, образованными преимущественно сфагновыми мхами. В последующей эволюции растительного покрова болот такого типа абсолютное доминирование получают сфагновые мхи, и непосредственно на минеральных подзолистых почвах развивается мощная толща верховых торфов. Валовой анализ погребенной минеральной почвы нередко отражает характерные особенности подзолистых почв. В отличие от иных случаев формирования верховых болот в зоне контакта минеральных и органогенных горизонтов отсутствуют прослойки переходных и, тем более, низинных торфов, а подзолистые почвы, подстилающие торфяник, часто имеют легкий механический состав (супесь, легкий суглинок). Естественно, что грунтовые воды в случае биогенного заболачивания не влияют на почвообразовательный процесс, а водосбор с окружающих территорий отсутствует (последнее можно легко проследить по топографической карте).

Почвы биогенного заболачивания приурочены к наиболее высоким нерасчлененным участкам водораздельных пространств.

Биогенное заболачивание в лесной зоне является нередко следствием не столько спонтанной эволюции растительности, сколько результатом глубокого изменения гидрологического режима территории, связанного с вырубкой леса, пожарами и другими причинами. При резком уменьшении транспирации и испарения с поверхности почвы, покрытой древесными остатками, на неочищенных лесосеках и пожарищах поселяется моховая растительность, обусловливающая прогрессирующее заболачивание окружающей территории. Вместе с тем процесс биогенного заболачивания весьма лабилен и его интенсивность может существенно ослабевать в результате естественной эволюции фитоценозов.

Этот случай заболачивания не приводит к образованию стабильных по площади заболоченных территорий. Наиболее часто он встречается в зоне средней и северной тайги, преимущественно на кислых алюмосиликатных породах ледникового происхождения.

Глава 2
Почвообразовательные процессы; методы диагностики минеральных почв по их морфологическим свойствам

Морфогенетический анализ строения почвенного профиля имеет большое значение в практике полевых изысканий и исследований и является основой почвенно-мелиоративного картирования. Преимущество морфогенетического подхода к оценке важнейших мелиоративных особенностей почв заключается и в том, что он позволяет быстро оценить многие свойства почв как непосредственного объекта мелиорации в полевых условиях до завершения всего цикла строительных изысканий.

Основой такого анализа является изучение морфологии почвенного профиля, строения его отдельных горизонтов, несущих ценную информацию о свойствах мелиорируемых территорий в целом. Поскольку генетические горизонты возникают под влиянием совершенно определенных процессов почвообразования, понимание сущности этих процессов является объективным условием целенаправленного морфогенетического анализа профиля почв гумидных ландшафтов при решении мелиоративных задач.

2.1. Почвообразовательные процессы, формирующие горизонты почв гумидных ландшафтов

Одним из наиболее распространенных почвообразовательных процессов в условиях гумидных ландшафтов Земли является процесс глееобразования.

2.1.1. Процесс глееобразования и его роль в формировании почв со светлыми кислыми элювиальными горизонтами. Общие положения

Процесс глееобразования — это анаэробный биогеохимический почвообразовательный процесс, возникающий при переувлажнении,

наличии органического вещества, способного к ферментации, в присутствии анаэробной микрофлоры на кислых, выщелоченных или нейтральных породах, свободных от сульфатов. Характерной химической особенностью этого процесса является несбалансированный вынос железа (преимущественно, «несиликатного»).

В результате глееобразования в условиях анаэробной ферментации органических веществ растительного происхождения образуются значительные массы фульвокислот, низкомолекулярных органических кислот, фенолов, аминокислот, большие, чем в аэробных средах. Поэтому процесс глееобразования следует рассматривать как *кислотный гидролиз*, особенностью которого является то обстоятельство, что он протекает в анаэробной среде. Существенно и то, что только в анаэробной среде накапливаются сильные неорганические восстановители — метан, водород, аммиак, сероводород и др. Органические кислоты и восстановители, возникающие в результате ферментации органических веществ в анаэробных средах, вызывают переход в истинный раствор марганца и железа, и образование растворимых подвижных комплексных металлорганических соединений железа и алюминия. Дальнейшая эволюция почв под действием глееобразования определяется их водным режимом. Автором впервые было установлено принципиально различное влияние глееобразования на минеральный субстрат почв в условиях застойного и застойно-промывного водного режима. Рассмотрим различия воздействия глееобразования на минеральный субстрат почв (или пород) в условиях застойного и застойно-промывного водного режима [Зайдельман, 1974, 1998].

2.1.1.1. Глееобразование (кислотный гидролиз) в условиях постоянного анаэробного, застойного водного режима и его воздействие на минеральный состав почв

Установлено, что в условиях застойного водного режима, постоянного анаэробиоза и глееобразования в профиле почв не формируются светлые кислые элювиальные горизонты (рис. 2.1). Это обусловлено, прежде всего, тем, что продукты реакций, происходящих в почвах в анаэробной среде, преимущественно, остаются в их сфере и не выносятся за пределы профиля При этом достаточно быстро возникают равновесные условия Лишь незначительные массы железа, марганца и щёлочноземельных ме-

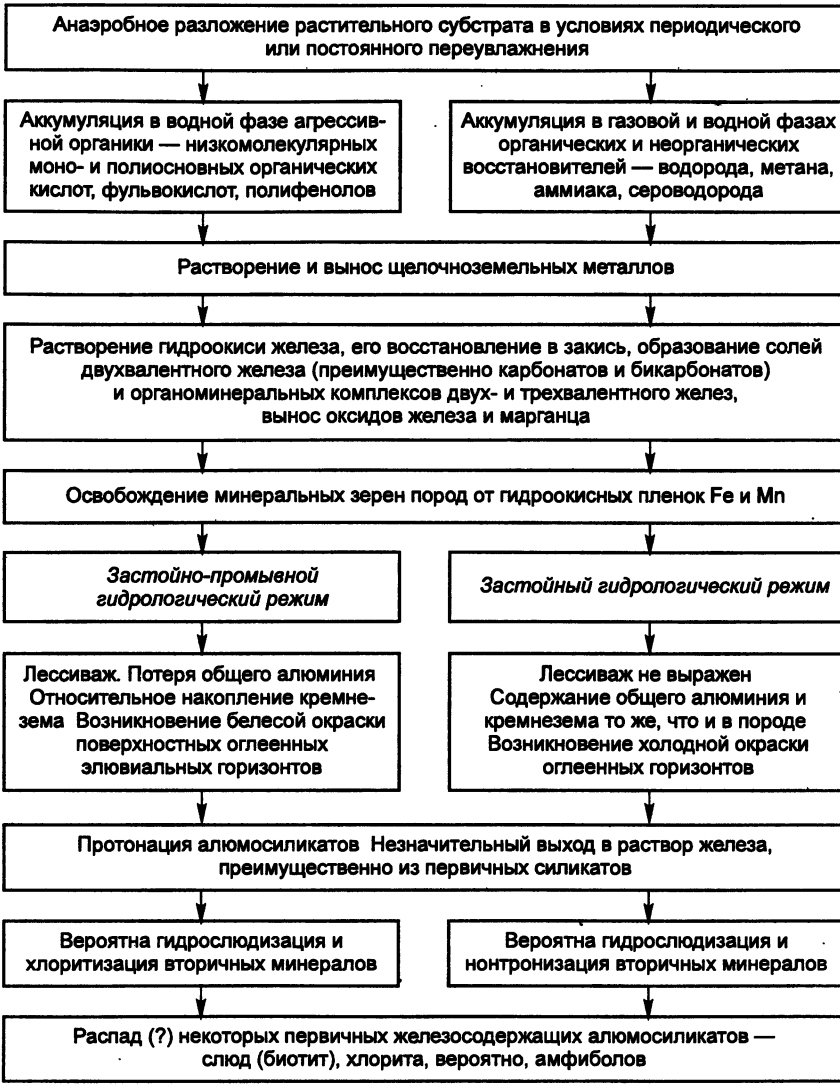


Рис. 2.1. **Последовательность изменения минеральной массы пород под влиянием глееобразования в условиях застойного и застойно-промывного водного режимов**

таллов сохраняют способность медленно мигрировать вверх к зоне аэрации на контакте приземных слоев атмосферы и водного раствора на поверхности затопленной почвы. В этой зоне возможен не вынос, а,

напротив, незначительная аккумуляция железа и других металлов. При застойном водном режиме в результате отмывки минеральных зёрен от железистых гидроксидных оболочек относительно увеличивается общая масса ила в результате распада агрегатов, а горизонты профиля приобретают характерную холодную окраску — голубую, синюю, сизо-серую, сизую (рис. 2.1) В результате постоянного оглеения и отсутствия выноса быстро наступает равновесное состояние системы и формируются интенсивно оглеенные кислые дерново-глеевые, торфянисто- и торфяно-глеевые почвы, в профилях которых отсутствуют светлые кислые элювиальные горизонты.

2.1.1.2. Глееобразование (кислотный гидролиз в анаэробно-аэробной среде) в условиях застойно-промывного водного режима как причина возникновения светлых кислых элювиальных горизонтов

В анаэробной среде при глееобразовании в условиях застойно-промывного водного режима в раствор переходят не только восстановленные формы железа и марганца, но и кальций, магний, алюминий, фосфор, другие элементы, резко возрастает содержание фульвокислот и низкомолекулярных органических кислот, происходит трансформация алюмосиликатных и других минералов.

Роль кислотного гидролиза в анаэробных условиях в формировании светлых кислых элювиальных (т е. подзолистых) горизонтов на фоне застойно-промывного водного режима проявляется, во-первых, в растворении оксидных и гидроокисных железистых кутан, покрывающих поверхность элементарных зерен почвенного мелкозёма Во-вторых, в растворении железистых несиликатных минералов и, в-третьих, в разрушении кристаллической решётки алюмо- и феррисиликатов. Глееобразование в условиях застойно-промывного водного режима по характеру влияния на минеральный субстрат является наиболее агрессивной формой кислотного гидролиза. Оно не ограничивается воздействием на несиликатные формы железа, марганца и других элементов, но затрагивает и железо, находящееся в составе алюмосиликатных минералов. После отмывки минеральных зерен мелкозёма от гидроокисных пленок железа под влиянием глееобразования происходит восстановление «октаэдрического» окисного железа до двухвалентного состояния, его выход из октаэдрических позиций и, как следствие, деградация кристаллических решёток си

ликатов. Наиболее активно этот процесс проявляется при застойно-промывном водном режиме. Оглеение в кислых условиях приводит к частичной потере разбухающего смешаннослойного слюда-смектитового образования или к потере некоторого количества его смектитовых пакетов [Зайдельман, Соколова, Нарокова, 1978; Зайдельман, 1992].

Действие глееобразования на минеральный состав почв и почвообразующих пород принципиально отличается по своим последствиям в зависимости от типа водного режима, в котором протекает этот процесс. Выше мы обратили внимание на то, что при оглеении в условиях застойного режима имеет место относительно слабый вынос железа и марганца, щелочноземельных металлов, не обнаружен вынос алюминия.

Существенно иначе сказывается влияние глееобразования на состав почв и пород в условиях застойно-промывного водного режима. В этом случае имеет место интенсивный вынос не только железа и марганца, но и кальция, магния, алюминия, происходит отчётливое накопление кварца и возможна потеря ила. Интенсивное элювиирование металлов при глееобразовании в условиях застойно-промывного водного режима вызывает глубокие изменения физико-химических свойств почв по сравнению с глееобразованием на фоне застойного режима – резко снижаются значения pH (на 1,5–2,0 единицы), уменьшается в 3–4 раза степень насыщенности основаниями, на один-два порядка возрастает содержание подвижного алюминия, в 2–3 раза увеличивается гидролитическая кислотность. В этих условиях происходит накопление значительных масс кремнезёма, имеющего белёсую окраску. Поверхностные горизонты пород, в исходном состоянии коричневатые или буровато-коричневатые, только в условиях глееобразования на фоне застойно-промывного водного режима приобретают характерную белесую окраску на второй год экспонирования. На второй-третий годы экспонирования в поверхностных светлых кислых горизонтах формируются крупные марганцево-железистые ортштейны диаметром 1–3 мм (табл. 2.1) [Зайдельман, Никифорова, 2001].

Наряду с этими двумя случаями кислотного гидролиза, непосредственно связанного с глееобразованием в условиях застойного и застойно-промывного водного режима, необходимо

остановиться и еще на одном распространенном варианте кислотного гидролиза, который встречается на хорошо дренированных территориях и осуществляется при отсутствии переувлажнения в аэробных условиях.

Таблица 2.1

Изменение свойств почв и процессов под влиянием глееобразования при застойном и застойно-промывном типах водного режима (по материалам модельных и натурных исследований)

Свойства почв и процессы	Изменения в результате глееобразования на фоне водного режима*	
	застойного	застойно-промывного
1. Вынос Fe	умеренный	интенсивный
2. Вынос Al	не выражен	интенсивный
3. Вынос Ca и Mg	не выражен или слабый	интенсивный
4. pH	без изменений или слабое подщелачивание	резкое подкисление (на 1–2 ед. pH)
5. Подвижный алюминий	без изменений	резкое увеличение (на 1–2 порядка)
6. Гидролитическая кислотность	без изменений	резкое увеличение (в 2–3 раза)
7. Степень насыщенности основаниями	несущественные изменения	резкое уменьшение (в 3–4 раза)
8. Содержание ила (частиц < 0,001 мм)	несущественные изменения	возможен вынос (лессиваж)
9. Внешняя удельная поверхность	слабое или заметное	уменьшение
10. Сегрегация железа (конкрециеобразование)	не выражена	заметная или интенсивная
11. Цвет горизонта	сизый, синеватый, голубоватый, синий	белесый, ярко-белый, сероватый

* Изменение по сравнению с исходной почвообразующей породой

2.1.1.3. Кислотный гидролиз в аэробных условиях на фоне промывного водного режима и его воздействие на минеральный состав почв.

Следует подчеркнуть, что в аэробной среде кислотный гидролиз в принципе не может вызвать формирования светлых кислых элювиальных горизонтов, поскольку железо, образующее ржаво-охристые оболочки вокруг минеральных зёрен, будет находиться в нерастворимой трехвалентной форме в условиях промывного режима. В этом случае действия гуминовых и фульвокислот, низкомолекулярных одно- и многоосновных органических кислот, фенолов и полифено-

лов, аминокислот недостаточно для восстановления трехвалентного железа в двухвалентное и перевода его в раствор. Кроме того в аэробных условиях, в отличие от анаэробных, в почве и растворе отсутствуют такие активные неорганические восстановители как метан, водород, сероводород, аммиак, вызывающие переход железа из нерастворимого трёхвалентного состояния в восстановленное двухвалентное растворимое в воде состояние. Поэтому в естественных условиях при воздействии органических кислот на минеральный субстрат в аэробной среде не происходит «несбалансированного» выноса железа. Напротив, такое слабое кислотное воздействие в аэробной среде на фоне промывного режима всегда сопровождается накоплением «биогенного» железа и, как следствие, — образованием бурых недифференцированных почв (рис. 2.2).

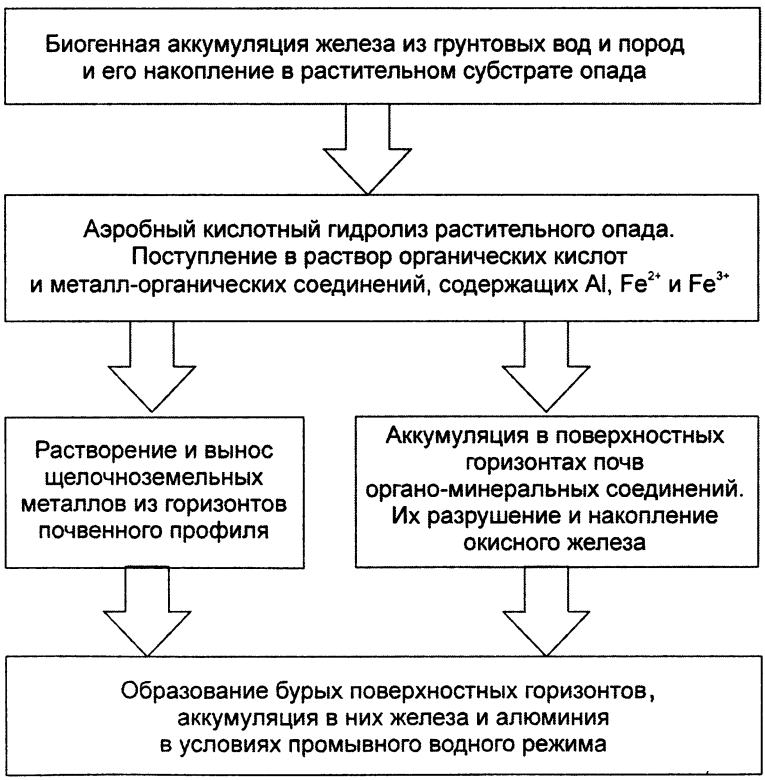


Рис. 2.2. **Этапы формирования бурых почв в условиях промывного водного режима**

Эти наблюдения получили не только широкое аналитическое, но и географическое подтверждение, поскольку обширные картографические исследования отечественных и зарубежных авторов свидетельствуют о том, что в аэробных условиях при промывном водном режиме формируются только бурые почвы, в профиле которых отсутствуют светлые кислые элювиальные (деградированные) горизонты.

Таким образом из трех упомянутых форм кислотного воздействия на минеральный субстрат только процесс пульсирующего глееобразования в условиях застойно-промывного режима на кислых и выщелоченных почвообразующих породах любого гранулометрического состава в условиях обеспеченного оттока продуктов реакций способен вызывать формирование светлых кислых элювиальных горизонтов, свойства твердой фазы которых тождественны свойствам подзолистых горизонтов. Глееобразование в условиях такого гидрологического режима является не только необходимым, но и безусловно достаточным условием для образования светлых кислых элювиальных горизонтов в профиле почв. Общая схема изменений свойств твёрдой фазы почв под влиянием глееобразования в условиях застойно-промывного и застойного водного режимов на кислых, нейтральных и выщелоченных почвообразующих породах приведена на рис. 2.1.

Вместе с тем, если единственной причиной образования подзолистых (т.е. светлых кислых элювиальных) горизонтов является глееобразование в условиях застойно-промывного водного режима на кислых и выщелоченных породах, то в профилях не только гидромофных (оглеенных), но и автоморфных почв должны присутствовать признаки гидроморфизма, свидетельствующие об участии глееобразования в их формировании. Наши исследования показывают, что такие признаки-свидетели современного оглеения постоянно или периодически реально присутствуют в их профилях. Они проявляются, во-первых, в систематическом падении их окислительно-восстановительного потенциала (до 200 мВ и ниже) в период весеннего переувлажнения почв во время снеготаяния и после его завершения.

Во-вторых, в элювиальных горизонтах автоморфных суглинистых и глинистых почв всегда присутствуют марганцево-железистые конкреционные новообразования (ортштейны), возникновение которых возможно только в условиях периодического оглеения. В-треть-

их, илистая фракция светлых кислых элювиальных горизонтов всегда отличается потерей железа. Поскольку глееобразование в химическом отношении является прежде всего процессом обезжелезнения минерального субстрата — этот признак свидетельствует об активном участии глееобразования в формировании подзолистых горизонтов. В-четвёртых, несомненным признаком глееобразования в автоморфных суглинистых и глинистых почвах является обезжелезнение ила кутан иллювиальных горизонтов. В частности, в иле кутан иллювиальных горизонтов B_1 и B_2 дерново-подзолистых тяжелосуглинистых автоморфных почв, не несущих явных морфохроматических признаков оглеения, тем не менее потери «несиликатного» железа оказались весьма значительными и составили 20–50, а в глееватых почвах — 87%. Следует признать, что само появление светлых кислых элювиальных горизонтов (A_2 или E и EL) есть следствие и свидетельство кратковременного оглеения поверхностных горизонтов профиля подзолистых почв.

Таким образом, светлые кислые элювиальные (т.е. подзолистые) горизонты возникают под влиянием глееобразования в тех случаях, когда этот процесс происходит на кислых, выщелоченных и нейтральных породах в условиях застойно-промывного водного режима. Поэтому следует подчеркнуть, что образование светлых кислых элювиальных горизонтов (и подзолообразование) есть одна из форм глееобразования в том случае, когда этот процесс осуществляется в условиях застойно-промывного водного режима на кислых, выщелоченных или нейтральных породах.

Итак, кислотный гидролиз в природных условиях существует в трех следующих формах, ответственных за образование разных по генезису и свойствам крупных групп почв. Это, во-первых, кислотный гидролиз в аэробных условиях при промывном водном режиме, следствием которого является образование бурых недифференцированных почв. Во-вторых, кислотный гидролиз в постоянных анаэробных условиях (глееобразование) на фоне застойного водного режима, в результате которого возникают глеевые недифференцированные почвы (например, дерново-глеевые, торфянисто-глеевые и др.). В-третьих, кислотный гидролиз в условиях периодического анаэробиоза (пульсирующее глееобразование) на фоне застойно-промывного водного режима. Его следствием является образование светлых кислых элювиальных горизонтов и почв с дифференцированным

профилем (дерново-подзолистых и дерново-подзолистых оглеенных и глеевых; черноземовидных подзолистых оглеенных и др.).

Отметим, что на кислых, выщелоченных и нейтральных породах следствием глееобразования в условиях застойно-промывного водного режима всегда оказываются почвы с четко выраженными светлыми кислыми элювиальными (т.е. деградированными) горизонтами. Рассмотренная проблема, несомненно, актуальна в теоретическом отношении, поскольку ее решение раскрывает механизм образования светлых кислых элювиальных горизонтов в профиле почв, широко представленных на территории России и других стран[1].

Это заключение важно и для решения ряда прикладных вопросов, связанных, во-первых, с практикой почвоведения в области диагностики, классификации и картирования почв и, во-вторых, актуально в связи с прогнозом вторичных изменений свойств и режимов почв при их использовании в сельском, лесном и водном хозяйствах. Они показывают, что вторичное периодическое переувлажнение почв, вызванное их уплотнением тяжелой сельскохозяйственной техникой, переполивами при орошении или дренажем постоянно обводненных глеевых почв, при застойно-промывном водном режиме, определяющем возникновение пульсирующего глееобразования, будут всегда сопровождаться их деградацией. Она проявляется в их подкислении, увеличении содержания «аморфного» железа и потере водопрочности агрегатов, в потере гумуса и осветлении поверхностных слоев профиля, образовании вторичных светлых кислых элювиальных (т.е. подзолистых малоплодородных или бесплодных) горизонтов.

Справедливость такого прогноза подтверждают, в частности, образование на сотнях тысяч гектар вторичных практически бесплодных «рисовых» подзолов в Юго-Восточной Азии, возникших на месте ранее плодородных почв рисовых оросительных систем; появ-

[1] Научное открытие: «Закономерность формирования светлых кислых элювиальных горизонтов в профиле почв». Диплом № 37 от 27 ноября 1996 г. Автор Зайдельман Ф.Р. Приоритет : 28 июня 1974 г.
«Сущность открытия состоит в том, что в случае, когда глееобразование (т.е. несбалансированный вынос железа из мелкозема) осуществляется на кислых или выщелоченных почвообразующих породах на фоне застойно-промывного водного режима, его последствием всегда является возникновение светлых кислых элювиальных горизонтов, которые отличаются высокой степенью деградационных изменений по сравнению с исходной почвообразующей породой. В этом горизонте переходят в подвижное состояние и выносятся за пределы почвенного профиля кальций, магний, алюминий и др. металлы, а также фосфор и органическое вещество» (с. 14).

ление вторично осветленных и оподзоленных кислых черноземов на оросительных системах степной зоны в бассейне р. Волги и в других регионах страны, частые случаи вторичного оподзоливания дренированных глеевых почв на осушительных системах Нечерноземья. Эти и другие явления обусловлены тем, что под влиянием антропогенного воздействия на почвы в их профилях формируется застойно-промывной водный режим и пульсирующее глееобразование, всегда приводящие к образованию малоплодородных деградированных светлых кислых элювиальных горизонтов.

В последние десятилетия в классификации почв многих стран мира было введено понятие о процессе лессиважа как факторе дифференциации профилей суглинистых и глинистых почв и формировании светлых кислых элювиальных горизонтов. Оценка роли лессиважа в этой связи заслуживает краткого пояснения.

2.1.2. Лессиваж как почвообразовательный процесс и причина образования светлых кислых элювиальных горизонтов

В современном почвоведении лессиваж рассматривают как процессе формирования светлых кислых элювиальных горизонтов в результате гидромеханического выноса ила из верхних горизонтов почв без разрушения силикатных минералов и его накопление в средней части почвенного профиля. После исследований Ф. Дюшофура (1951) и Р. Дюдаля (1953) распространено представление о том, что именно этот процесс всегда вызывает образование в профилях суглинистых и глинистых бескарбонатных почв светлых кислых элювиальных горизонтов. Однако вскоре А.А. Роде (1964) было показано, что такие почвы гумидных ландшафтов со светлыми кислыми элювиальными горизонтами формируются преимущественно, при отсутствии каких-либо признаков лессиважа в их профилях.

Позднее автором было исследовано наличие признаков лессиважа в автоморфных и гидроморфных дерново-подзолистых почвах разной степени переувлажнения Восточно-Европейской равнины на разных по генезису и составу породах. В результате было установлено, что признаки лессиважа отчетливо проявляются в автоморфных легкосуглинистых дерново-подзолистых и в гидроморфных дерново-подзолистых глубокооглеенных почвах на лёссовидных суглинках. Однако эти признаки отсутствуют в профилях дерно-

во-подзолистых глееватых и глеевых почв такого же гранулометрического состава, обладающих мощными светлыми кислыми элювиальными горизонтами.

В тяжелых дерново-подзолистых и дерново-подзолистых переувлажнённых почвах на легких лессовидных и других кислых глинах по нашим наблюдениям признаки лессиважа практически отсутствовали в автоморфных почвах и в почвах с морфологически выраженным переувлажнением, т.е. в глубокооглеенных, глееватых и глеевых почвах, обладающих мощными светлыми кислыми элювиальными горизонтами [Зайдельман, 2007].

Причины столь неоднозначного проявления признаков лессиважа во всех почвах, обладающих светлыми кислыми элювиальными горизонтами, обусловлены присутствием в их профилях трех гидрологических барьеров, препятствующих свободной вертикальной миграции суспензий. Это, во-первых, наличие верховодки в их профиле. Во-вторых, присутствие капиллярной каймы над ее зеркалом. В-третьих, резкое сокращение свободного порового пространства, уменьшение диаметра пор с увеличением степени их оглеения и утяжелением гранулометрического состава почв. Эти факторы явились причиной торможения или отсутствия лессиважа в профилях суглинистых и глинистых почв с чётко выраженными светлыми кислыми элювиальными горизонтами.

Поэтому лессиваж не является обязательным почвообразовательным процессом, ответственным за формирование почв со светлыми кислыми элювиальными горизонтами, поскольку последние образуются и без его участия. Лессиваж следует рассматривать не как самостоятельный почвообразовательный процесс, а как сопутствующее факультативное явление, которое может сопровождать формирование таких светлых кислых горизонтов, или, напротив, вообще не участвовать в их образовании по изложенным выше причинам.

2.1.3. Процесс подзолообразования

Подзолообразование — одна из форм глееобразования, возникающая в результате кислотного гидролиза кислых, нейтральных или выщелоченных пород при пульсирующей смене аэробных и анаэробных условий на фоне застойно-промывного водного режима.

Процесс подзолообразования вызывает деградационные изменения в профиле почв, поскольку он всегда сопровождается интенсив-

ным выносом из элювиальных поверхностных горизонтов кальция, магния, марганца, железа, алюминия, фосфора, калия и других элементов, определяет преобладание фульвокислот, способствует снижению качества структуры почв и др.

Процесс подзолообразования может развиваться на породах любого гранулометрического состава в том случае, если кислые поверхностные горизонты периодически избыточно увлажняются и находятся в условиях застойно-промывного водного режима. Разнообразие зональных и фациальных условий, почвообразующих пород и вод является причиной того, что тип подзолистых почв объединяет широкую общность кислых почв с элювиально-иллювиальным профилем и следующим чередованием горизонтов: A2 (E)– B–C или A1–A2 (E)–B–C.

При длительном застое влаги в профиле формируется тип болотно-подзолистых почв, несущих отчетливые морфохроматические признаки оглеения. Именно в профиле болотно-подзолистых почв, приуроченных к легкосуглинистым, супесчаным и особенно к песчаным почвообразующпм породам, наблюдается наибольшая мощность подзолистых горизонтов. На таких породах обычно встречаются сильноподзолистые почвы и подзолы. Их морфологическое строение 0–A1–A2–B–C или 0–$A1_g$–$A2_g$, f_s–B_g–G.

2.1.4. Дерновый процесс

Формирование гумус-аккумулятивных горизонтов в профиле почв является следствием дернового процесса. Характерная особенность *дернового процесса* — накопление органического вещества (гумуса) в поверхностных горизонтах почвенного профиля. Дерновый процесс протекает в аэробных условиях или при таком чередовании фаз аэробиоза и анаэробиоза, когда происходит глубокое разложение растительных и животных организмов до гумифицированных остатков.

2.1.5. Процесс торфообразования

При заболачивании резко сокращается фаза аэробного разложения органического вещества и происходит накопление неразложившихся остатков. Начинается формирование торфяных горизонтов. *Торфообразование* является следствием заболачивания территории. Оно заключается в анаэробной, преимущественно субаквальной консервации остатков растений-торфообразователей. В результате торфообразования происходит накопление *торфа.*

По Тюремнову (1976) торфом называется «торф-органическая <...> порода, содержащая не более 50% минеральных веществ (от абсолютно сухого вещества торфа), образовавшаяся в результате отмирания и неполного распада болотных растений в условиях повышенной влажности при недостатке кислорода».

В отличие от торфоорганогенной породы к собственно *болотным* (*торфяным*) *почвам* в условиях естественного режима относят только поверхностные горизонты торфяной залежи выше уровня наиболее глубокого стояния грунтовых вод в меженный период. Почвы отличаются от породы более активной микробиологической деятельностью, наличием аэробной микрофлоры, корней растений, повышенной водопроницаемостью [Скрынникова, 1961].

Под влиянием застойных вод, тормозящих разложение органического вещества, происходит *заболачивание территории,* формирование заболоченных и болотных (органогенных) почв. В Нечерноземной зоне процесс заболачивания может осуществляться путем *заболачивания суши* и *заболачивания водоемов.* Выше было показано, что заболачивание суши происходит под влиянием атмосферных, намывных склоновых, намывных русловых, грунтовых и напорных вод В заболачивании суши могут принимать участие криогенные, биогенные и другие факторы

Болотные (торфяные) почвы, возникающие вследствие *заболачивания водоемов,* формируются в результате зарастания водоемов или образования надиловых сплавин, зарастания водоемов надводными сплавинами и растительностью, укореняющейся на дне водоема.

Мелиорация болотных почв, возникающих в результате заболачивания водоемов, сопряжена с определенными трудностями при выполнении строительных мелиоративных работ. Поэтому диагностика таких массивов имеет важное прикладное значение. Существенным признаком таких болот является наличие в их нижних слоях мощных сапропелевых горизонтов. *Сапропели* [Тюремнов, 1976] — «современные тонкоструктурные, коллоидные отложения континентальных водоемов, содержащие не менее 15% органического вещества и структурных остатков микроскопических водных организмов, а также некоторое количество неорганических компонентов биогенного происхождения» и привнесенных минеральных примесей».

2.1.6. Процесс гидрогенной аккумуляции металлов в профиле почв

В формировании характерных горизонтов профиля гидроморфных почв важная роль принадлежит процессу *гидрогенного привноса* и *аккумуляции* соединений двух- и трехвалентных металлов. Он осуществляется в результате миграции бикарбонатов железа, кальция и магния и реже гипса к поверхности с током грунтовых и напорных вод. В результате в профиле гидроморфных почв, главным образом в нижних слоях зоны аэрации, возникают горизонты аккумуляции гидроокисного железа – ортзанды, рудяки, железистые коры, а в случае заболачивания почв жесткими грунтовыми водами – горизонты лугового мергеля, туфа, твердые известковые и своеобразные железокарбонатные конкреции.

Следует указать еще на два важных процесса, оказывающих определяющее влияние на формирование своеобразной и важной в сельскохозяйственном отношении группы почв, приуроченных к первой (поёмной) террасе речных долин, – на аллювиальный и на поемный процессы.

2.1.7. Аллювиальный процесс

Под *аллювиальным процессом* понимают процесс оседания на поверхности поймы элементов твердого стока из полых вод. Под влиянием аллювиального процесса на поверхности пойменных почв систематически откладываются наносы, которые и являются почвообразующей породой. В дальнейшем эти наносы вовлекаются в почвообразование и включаются в состав аккумулятивного горизонта. Таким образом, пойменные почвы, в отличие от минеральных водораздельных, «растут сверху», подобно болотным. Все слои этих почв, поэтому, являлись в недалеком прошлом гумус-аккумулятивными горизонтами. Это и определяет их специфические мелиоративные особенности, обусловленные макро- и микроагрегированностью, высокой пористостью, водоотдачей, часто – значительными величинами коэффициентов вертикальной и горизонтальной фильтрации поверхностных или всех горизонтов почвенного профиля.

2.1.8. Поёмный процесс

Поемным называют *процесс* затопления почв пойменной террасы паводковыми водами. Продолжительность поемного процесса определяет

степень проявления признаков гидроморфизма, длительность субаквальной фазы пойменного почвообразования. Аллювиальный и поемный процессы тесно связаны между собой, а их интенсивность находится в обратной зависимости. Чем продолжительнее поемность (например, в притеррасье полноразвитой поймы), тем слабее выражен аллювиальный процесс, тем меньше мощность и тем тяжелее гранулометрический состав наноса. Напротив, в прирусловой пойме в зоне максимальных скоростей и минимальной по продолжительности поемности откладываются мощные слои грубого аллювия.

2.2. Горизонты почв Нечерноземной зоны: индексы, номенклатура, диагностические признаки

Под влиянием рассмотренных выше процессов почвообразования в профиле почв гумидных ландшафтов формируются следующие генетические горизонты (табл. 2.2).

Ниже в табл. 2.3 рассмотрено положение основных генетических горизонтов в профиле почв, факторы их образования и связи с причинами увлажнения и заболачивания.

Таблица 2.2

Индексы и номенклатура основных генетических горизонтов почв Нечерноземной зоны[1]

Индексы почвенных горизонтов по классификациям почв		Характеристика горизонтов
2004 г.	1977 г.	
0	0	Горизонт подстилочно-торфяной. Состоит из органического материала разной степени разложения (не выше 50%) и разного ботанического состава. Мощность около 10 см
A0	A0	Поверхностные органо-минеральные горизонты; органическая масса находится в механической смеси с минеральным субстратом горизонта
Ad	–	Дернина, часть гумус-аккумулятивного горизонта, плотно скрепленного живыми корнями травянистой растительности

[1] Приведены обозначения основных и дополнительных горизонтов из «Классификации и диагностики почв СССР» 1977 г. и «Классификации и диагностики почв России» 2004 г. Предложения автора по обозначению основных и дополнительных горизонтов отмечены знаком *

Продолжение таблицы 2.2

Индексы почвенных горизонтов по классификациям почв		Характеристика горизонтов
2004 г.	1977 г.	
–	A1	Гумус-аккумулятивный минеральный темноокрашенный горизонт, содержащий хорошо гумифицированный органический материал, связанный с минеральной частью почвы
AY, AU, AJ	–	Обозначения гумусовых горизонтов для почв соответственно таежной, лесостепной и степной, сухостепной и полупустынной зон по классификации 2004 г. Серо-, темно- и светлогумусовые горизонты
–	A2	Элювиальный светлоокрашенный преимущественной палево-белесый или белесый подзолистый горизонт, залегающий под горизонтами AO, AV, A1, T
E	–	Белесый подзолистый горизонт почв на песках и супесях
EL	–	Белесый подзолистый горизонт на суглинистых и глинистых почвах
B	B	Иллювиальные горизонты профиля, характеризуются изменением цвета, структуры, состава по сравнению с горизонтами A и C. Залегают под горизонтами A0, A1, A2
G	G	Глеевый горизонт, окрашен частично (по площади более чем на 80%) или полностью в однородные серые, сизые, голубые тона
–	Sl	Сапропелевый горизонт. Окрашен преимущественно в серые, темные, зеленоватые цвета в зависимости от характера донных органо-минеральных отложений
H	–	Перегнойный горизонт. Цвет от темно-коричневого до черного. Степень разложения растительных останков >50%
T*	T	Моховой очес, горизонт образован живой массой (>50%) болотных растений, преимущественно мхов
T	T	Торфяной темноокрашенный органогенный горизонта, зольность которого не превышает 50%. Залегает на глеевом, карбонатном или сапропелевом горизонтах
–	Ort	Ортзандовый горизонт — зона железистой гидрогенной цементации песчаный и супесчаных горизонтов. Всегда залегает на глеевом горизонте
F	F	Рудяковый горизонт, содержащий единичные крупные (до 30–35 см) рудяковые отдельности. Горизонт гидрогенного происхождения
–	FK*	Горизонт мощных (до 60 см) сплошных кор, образованных множеством рудяковых отдельностей темно-бурого цвета. Горизонт гидрогенного происхождения

Продолжение таблицы 2.2

Индексы почвенных горизонтов по классификациям почв		Характеристика горизонтов
2004 г.	1977 г.	
ML	Ca	Горизонт сплошной аккумуляции извести или мергеля. Светлоокрашенные (серые, белесые), обычно рыхлые аккумуляции гидрогенного происхождения. Содержание $CaCO_3$ более 50%. Палево-белый или грязно-белый с сероватым или буроватым оттенками. Во влажном состоянии мягкий и непластичный, при высыхании твердеет. Горизонт гидрогенного происхождения, характерен для почв грунтового увлажнения жесткими водами, возможны напорные воды
SJ, SU	–	Солончаковый горизонт (светлый SJ, гумуса <2%; темный SU, гумуса >2%). Легководорастворимых (токсичных) солей >1% в верхнем слое 0,2 м. В сухом состоянии имеет солевую корку и/или выцветы
SS	–	Сульфидный горизонт. Темноокрашенная почти черная толща, в самых верхних слоях профиля возможно присутствие золотистой ленты ярозита, продукта окисления пирита (FeS_2)
BSN	B1	Солонцевый горизонт. Коричневато-бурый или темно-серый. Плотный, имеет хорошо выраженную многопорядковую столбчатую или ореховато-призматическую структуру, прочную в сухом состоянии и неустойчивую при намокании. Структурные отдельности покрыты сплошными темными глянцевыми гумусово-глинистыми или глинистыми кутанами. Верхняя часть столбчатых отдельностей перекрыта белесой скелетаной. Горизонт обогащен илом, характеризуется пептизацией глинистого материала и особой кинетикой набухания («ступенькообразная задержка набухания»). Имеет щелочную реакцию. Содержание обменного натрия колеблется в очень широких пределах и не служит диагностическим показателем
V	–	Слитой горизонт. В зависимости от содержания гумуса окраска варьирует в диапазоне цветов — от оливково-бурого до черного. Очень плотный (плотность 1,3–1,6 г/см^3); вязкий и пластичный во влажном состоянии и трещиноватый в сухом. Разбит трещинами на глыбистые или тумбовидные отдельности. Имеет поверхности скольжения протяженностью более 30 см при угле наклона 10–60°, создающие клиновидную структуру, содержит более 30% ила, имеет высокую (40 мг-экв/100 г и более) емкость поглощения, нейтральную или слабощелочную реакцию. Формируется в почвах переменно-влажного теплого климата на глинистых отложениях с высоким содержанием смектитового компонента

Продолжение таблицы 2.2

Индексы почвенных горизонтов по классификациям почв		Характеристика горизонтов
2004 г.	1977 г.	
C	C	Почвообразующая порода, существенно не измененная почвообразованием
	CW*	Наилок свежий, не затронутый почвообразованием аллювий. Почвообразующая порода пойменных почв
	D	Подстилающая порода, отличающаяся от почвообразующей по генезису и составу
–	AP	Пахотный горизонт или горизонт плантажной обработки минеральных почв
P, PU	–	Горизонт плантажной обработки агрогумусовый (гумуса < 3%) и агротемногумусовый (гумуса > 3%) по классификации 2004 г.
PT	TP	Темнокоричневый пахотный горизонт торфяной почвы
Дополнительные индексы, уточняющие свойства основных диагностических горизонтов		
nn	fs*	Горизонт, обогащенный сегрегированным в ортштейны Fe, Mn и другими металлами (A2fs)
–	fo*	Горизонт, обогащенный аморфной гидроокисью железа (Bfo)
ff	fi*	Псевдофибровые горизонты; бурые по цвету тонкие (1–3, до 5 см) зоны железистой цементации в иллювиальных горизонтах легких почв, имеющие преимущественно горизонтальную направленность (Bfi)
–	fp*	Скопления вивианита
f	f	Железисто-иллювиальный горизонт (Bf)
g	g	Глееватый горизонт (A2g, Bg). Слабая, средняя и сильная степень глееватости отражается соответственно введением следующих дополнительных индексов — g', g'', g'''
–	lk*	Горизонт локального оглеения, главным образом по крупным трещинам, имеющим вертикальную направленность
–	mr*	Мраморовидный горизонт; преимущественно оглеенные иллювиальные горизонты суглинистых и глинистых почв, имеющие характерную сизо-охристую пятнистую окраску (Bmr, g'')
–	h	Гумус-иллювиальный горизонт (Bh)
t	t	Горизонт, обогащенный глинистым материалом в результате лессиважа (Bt)
e*	–	В горизонте присутствуют осветленные белесые участки или скопления скелетан («кремнистая присыпка»), признак оподзоленности
sn	–	Горизонт с признаками солонцеватости
v	–	Горизонт с признаками слитизации

Индексы почвенных горизонтов по классификациям почв		Характеристика горизонтов
2004 г.	1977 г.	
s	–	Присутствие в любом горизонте профиля легководорастворимых солей > 0,10–0,15%
ic	–	Лабильные образования карбонатов в виде плесневидных налетов карбонатов — мицеллярные формы извести
	k*	Контактный горизонт, возникающий на двух резко различных по гранулометрическому составу отложений (A2k)
	ca*	Горизонты, обогащенные вторичным карбонатными конкрециями гидрогенного происхождения (конкреционные горизонты Bca)
	lca*	Горизонты, содержащие каменистые включения карбонатных пород в бескарбонатном мелкоземе (Blca)
	lcam*	Горизонты, содержащие каменистые включения карбонатных пород в карбонатном мелкоземе (Blcam)
	lsi*	Горизонты, содержащие каменистые и валунные включения кислых пород в бескарбонатном мелкоземе (Clsi)
	b	Горизонт, текстура которого резко изменена в результате действия биологических факторов (например, крупная пористость, обусловленная проникновением корней хвоща, обилием нор грызунов), влияющих на физические свойства (плотность, фильтрацию) горизонта
	SU	Минеральные черные и темноокрашенные прослои, содержащий сульфиды железа, часто имеют запах сероводорода (BSU)
	CS	Горизонт, содержащий скопления гипса (CS)
	Z	Горизонт, содержащий легкорастворимые соли (AZ)
	[ ]	Погребенный горизонт. Обозначают квадратными скобками [A1]
	⊥	Мерзлотный водоупорный плотный горизонт. Знак перед основным индексом ⊥B.

Таблица 2.3

Важнейшие диагностические горизонты почв Нечерноземной зоны, их положение в профиле, некоторые свойства и связь с причинами заболачивания[1]

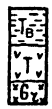
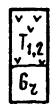
Горизонт	Индекс	Положение в профиле	Гранулометрический состав профиля почв	1. Причины переувлажнения. 2. Признаки горизонта, локальная приуроченность
Горизонты, формирующиеся при кратковременном анаэробиозе в условиях застойно-промывного режима. Цвет горизонтов преимущественно белесый, независимо от гранулометрического состава почв				
Поверхностные элювиальные горизонты				
Элювиальные (подзолистые)	A2		Преимущественно почвы и породы легкого состава	1. Преимущественно грунтовые воды: в холодных районах и районах с муссонным климатом — поверхностные воды. 2. Белесая окраска, новообразования конкреционного типа отсутствуют
Элювиально-сегрегационные (подзолисто-сегрегационные)	A2fs		Преимущественно почвы и породы суглинистого и глинистого состава	1. Поверхностные воды. 2. Палево-белесая окраска. Сегрегация Mn, Fe преимущественно в темно-серые, темно-бурые мелкие марганцовисто-железистые конкреции
Элювиально-контактный (подзолисто-контактный)	A2k		Двучленные отложения, преимущественно флювиогляциальные пески, супеси на моренных, реже покровных и иных суглинках и глинах	1. Поверхностные воды. 2. Палево-белесая окраска, точечные новообразования
Иллювиальные горизонты				

[1] Характеристику новообразований (ортштейнов, ортзанда, рудяка, псевдофибр и др.) см. в главе 2.

Продолжение таблицы 2.3

Горизонт	Индекс	Положение в профиле	Гранулометрический состав профиля почв	1. Причины переувлажнения. 2. Признаки горизонта, локальная приуроченность
Иллювиальный	B_t		Преимущественно почвы и породы суглинистого и глинистого состава	1. Поверхностные воды. Обычно розовато-бурой, коричневой окраски; кутаны структурных отдельностей не оглеены, имеют красновато-бурую окраску, признаки лессиважа. Мелкие примазки, пятна аморфной окиси марганца. Встречаются в неоглеенных почвах
Иллювиально-псевдофибровый	B_i		Почвы и породы легкого гранулометрического состава	1. Поверхностные воды. 2. Встречаются в недифференцированных или слабодифференцированных неоглеенных или глубокооглеенных песчаных почвах
Горизонты, формирующиеся при длительном анаэробиозе в условиях периодически застойно-промывного режима. Цвет горизонтов преимущественно светлый, с холодным сизоватым, сизым или синеватым оттенком				
Поверхностные элювиальные горизонты				
Глееватые, глеевые (подзолисто-глееватые, глеевые)	$A2_g'''$		Преимущественно почвы и породы легкого гранулометрического состава	1. Преимущественно грунтовые воды, в холодных районах и районах с муссонным климатом — поверхностные воды. 2. Ярко-белесая окраска
Глееватые, глеевые сегрегационные (подзолисто-глееватые, глеевые сегрегационные)	A2g'', fs		Преимущественно почвы и породы суглинистого и глинистого состава	1. Преимущественно поверхностные воды. 2. Белесая окраска. Сегрегация и бурые или охристо-бурые мелкие и крупные железистые ортштейны
Глеевые контактные (подзолисто-глеевые контактные)	A2g''', k		Двучленные породы, преимущественно флювиогляциальные пески, супеси на моренных, реже покровных и иных суглинках и глинах	1. Поверхностные воды. 2. Белесая окраса. Часто — сегрегация железа в ортштейны
Иллювиальные горизонты				

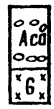
Продолжение таблицы 2.3

Горизонт	Индекс	Положение в профиле	Гранулометрический состав профиля почв	1. Причины переувлажнения. 2. Признаки горизонта, локальная приуроченность
Гумус-иллювиальные, гумус-железисто-иллювиальные	Bh		Преимущественно почвы и породы легкого гранулометрического состава	1. Преимущественно грунтовые воды; в холодных районах и районах с муссонным климатом — поверхностные воды. 2. Темноокрашенные плотные горизонты
Мраморовидные иллювиальные глееватые, глеевые горизонты	Bg,mr		Почвы и породы суглинистого и глинистого состава	1. Поверхностные воды. 2. Оглеены поверхности структурных отдельностей иллювиальных горизонтов. Их сизая, голубоватая окраска, перемежаясь с охристо-бурой окраской структурных отдельностей, создает характерную мраморовидность. Обилие примазок, аккумуляций аморфного железа и марганца, трубчатые конкреции
Горизонты, формирующиеся при длительном или постоянном анаэробиозе в условиях преимущественно застойного режима				
Моховой очес	ТВ		Возможно возникновение на всех породах независимо от их состава	1. Горизонт хорошо развитого мохового очеса формируется при поверхностном заболачивания или при заболачивании мягкими пресными неминерализованными водами. 2. На 50% и более состоит из живых частей растений, соломистой окраски и консистенции
Торфяные горизонты Торфяные горизонты, состоящие из неразложившихся или слаборазложившихся растительных остатков	Т Т1		Возможно возникновение на всех породах независимо от их состава	1. Возникают при любых причинах заболачивания. 2. Коричневой и бурой окраски, реже темно-серой, при высыхании после окисления принимают черный цвет

Продолжение таблицы 2.3

Горизонт	Индекс	Положение в профиле	Гранулометрический состав профиля почв	1. Причины переувлажнения. 2. Признаки горизонта, локальная приуроченность
Торфяные горизонты из среднеразложившихся растительных остатков, частично сохранивших свою форму	T2			
Торфяные горизонты из органической массы, полностью утратившей формы исходных растительных остатков	T3			
Сапропелевые горизонты	Sl		Возможно возникновение на всех породах независимо от их состава	1. Донные отложения, возникающие при заболачивании водоемов. 2. Окраска горизонта различна, зависит от генезиса и состава сапропеля
Горизонты, формирующиеся при различной продолжительности анаэробного периода в результате гидрогенной аккумуляции в почвенном профиле соединений двух- и трехвалентных металлов				
Ортзандовый	Ort		Почвы и породы супесчаного и песчаного гранулометрического состава	1. Слабо ожелезненные грунтовые воды. 2. Окраска — светло-бурая, ржаво-охристая. Ортзандовый горизонт всегда находится над глеевым, имеет горизонтальное простирание, разную степень цементации гидроокисью железа
Рудяковый, Рудяковый коровый	F Fк		Почвы и породы супесчано-суглинистого и песчаного гранулометрического состава	1. Обычно — сильноожелезненные грунтовые воды. 2. Окраска темно-бурая. Встречаются в виде горизонтов небольшой (0,1–0,3 м) мощности с единичным содержанием рудяковых отдельностей

Продолжение таблицы 2.3

Горизонт	Индекс	Положение в профиле	Гранулометрический состав профиля почв	1. Причины переувлажнения. 2. Признаки горизонта, локальная приуроченность
Карбонатно-аккумулятивный Карбонатно-аккумулятивный конкреционный	Ca ca		Почвы и породы суглинистого и глинистого гранулометрического состава	1. Жесткие грунтовые (часто — напорные) воды. 2. Конкреционный карбонатно-аккумулятивный горизонт содержит рассеянные угловатые твердые известковые новообразования размером 2–5 см
Карбонатный или аккумулятивный известковый или мергелевый	Ca		Почвы и породы различного гранулометрического состава, часто — песчаные и супесчаные	2. Равномерно рассеянная, белесая или сероватая масса луговой извести или лугового мергеля

Особый интерес в этом отношении вызывает генезис и морфология глеевых и оглеенных горизонтов, поскольку признаки проявления глееобразования являются наиболее ярким отражением интенсивности переувлажнения, заболачивания и степени развития анаэробиоза в горизонтах почвенного профиля. Преимущественно в результате диагностики почв по этим признакам гидроморфизма почвовед в условиях Нечерноземной зоны определяет степень их заболоченности.

2.3. Классификация и диагностика оглеенных и глеевых горизонтов по системе Ф.Р. Зайдельмана

Минеральные горизонты по степени проявления признаков оглеения можно дифференцировать на две группы — глееватые или оглеенные и глеевые. В глееватых горизонтах частично или полностью сохраняется цветовая гамма генетического горизонта или породы. В глеевых горизонтах она отсутствует [Зайдельман, 2004].

При полевом изучении минеральных гидроморфных почв важно определение интенсивности проявления признаков глееобразования и глубины их появления. При этом, если признаки оглеения сосредоточены в поверхностных горизонтах и отсутствуют в горизонтах В, ВС, С, то такие почвы следует относить к поверхностно оглеенным.

Если признаки оглеения вначале проявляются в глубоких слоях профиля и затем по мере нарастания переувлажнения постепенно возникают во всех горизонтах профиля, включая и поверхностные горизонты, то такие почвы следует относить к профильно оглеенным.

При одной и той же глубине появления морфохроматических признаков оглеения степень их проявления может быть различной в профилях почв на разных почвообразующих породах с разными признаками заболачивания. В таких случаях признаки оглеения в профильно оглеенных почвах полезно характеризовать по двум параметрам — глубине и интенсивности проявления процесса. Так, например, глубоко оглеенные почвы характеризуются обычно появлением признаков оглеения на глубине один метр. Однако по интенсивности проявления глееобразования это могут быть слабо-, средне- или сильнооглеенные горизонты. При таком разнообразии термин «глубокооглеенные» почвы может быть дополнен определением «глубокооглеенные, слабоглееватые» почвы. В этом случае в такой терминологии указывается, что почвы характеризуются появлением признаков оглеения с глубины 100 см и ниже, а морфохроматические признаки оглеения в оглеенном горизонте занимают площадь на вертикальной передней стенке разреза не более 20% его поверхности и т.д.

Следует, однако, подчеркнуть, что необходимость такого уточнения обычно возникает при сопоставлении гидроморфных почв на разных по генезису и составу почвообразующих породах с разными индексами заболачивания. Почвы на одних и тех же почвообразующих породах по генезису и составу, как правило, обладают достаточно стабильными признаками оглеения по глубине появления и по степени интенсивности.

Рассмотрим морфологию глееватых горизонтов, разделив их на поверхностные, т.е. гор. А1, Апах, А2 (Е), и горизонты нижней части профиля (негумусированные). Их следует подразделять на слабоглееватые (индекс g'), среднеглееватые (индекс g'') и сильнооглееватые (индекс g'''). Поверхностные оглеенные горизонты относят к **слабоглееватым**, если морфохроматические признаки оглеения представлены мелкими отчетливыми сизовато-серыми пятнами по общему фону горизонта. **Среднеглееватые** поверхностные горизонты обладают неинтенсивным сизоватым

налетом по его общему фону. **Сильноглееватые** поверхностные горизонты отличаются интенсивной темносизой окраской.

Глееватые горизонты нижней части профиля (гор. В, ВС и С) суглинистых и глинистых почв на покровных, моренных, ленточных и иных бескарбонатных субстратах характеризуются тем, что в них преимущественно или частично сохраняется исходная окраска материнских почвообразующих пород. Они формируются в условиях периодического переувлажнения и также подразделяются на слабо-, средне- и сильноглееватые (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Морфология оглеенных и глеевых горизонтов

№	Наименование горизонта	Индекс	Морфологические особенности, проективное покрытие горизонта холодной «глеевой» окраской
1. Оглеенные горизонты А1, Апах , А2			
1.1	Слабоглееватый	g'	Мелкие отчетливые единичные сизовато-серые пятна по общему фону подзолистого или гумусового горизонтов
1.2	Слабоглееватый сегрегированный	fs, g'	То же, что и 1.1, заметное присутствие ортштейнов в суглинистых и глинистых почвах
1.3	Среднеглееватый	g'	Неинтенсивный сизоватый налет при сохранении цвета генетического горизонта. Охристые аморфные новообразования
1.4	Среднеглееватый сегрегированный	fs, g'	То же, что и 2.3. Много или обилие (гнезда) ортштейнов в суглинистых и глинистых почвах
1.5	Сильноглееватый	g'''	Интенсивная темно-сизая (в гумусовом) и сизая (в подзолистом) горизонтах окраска. Охристые аморфные новообразования
1.6	Сильноглееватый сегрегированный	fs, g'''	То же, что и 1.5. Много ортштейнов
2. Оглеенные горизонты В, ВС и С			
2.1	Слабоглееватый	g'	Вертикальные сизые полосы оглеения по граням структурных отдельностей в суглинистых и глинистых почвах. Покрытие — до 20% поверхности горизонта
2.2	Среднеглееватый	(mr)*, g'	Сложная сеть пятен оглеения, часто мраморовидная. Покрытие — 20–50% площади горизонта. Суглинистые и глинистые кутаны — сизовато-коричневые
2.3	Сильноглееватый	(mr)*, g''	То же. Покрытие — 50–80%. Кутаны коричневато-сизые или сизые

№	Наименование горизонта	Индекс	Морфологические особенности, проективное покрытие горизонта холодной «глеевой» окраской
3. Глеевые горизонты			
3.1	Глей редуцированный фронтальный	Gr	Однородная холодная окраска (сизая, сизо-голубая, синяя в суглинистых и глинистых почвах, в песчаных — голубоватая или серая). Покрытие — 100%
3.2	Глей окисленный фронтальный	Go	По однородному сизому фону единичные охристые пятна на 20% площади горизонта. 80% поверхности имеет холодную окраску
3.3	Глей ленточный или подвешенный	Gb (1, 2, 3)	Маломощный (10–30 см) глеевый горизонт (по контакту выщелоченных и карбонатных слоев почвенного профиля (1). Возможно появление этой формы глея на льдистом (2) или суглинистом (3) водоупоре
3.4	Глей мраморовидный	Gmr	Сложная сеть участков интенсивного оглеения по ходу трещин окрашенных в холодный цвет, частые мелкие охристые пятна, редкие мелкие фрагменты породы. Покрытие холодной окраской — 80% и более
3.5	Глей локальный или струйчатый	Gl	Сизые крупные вертикальные полосы оглеения по ходу значительных трещин на фоне слабооглеенного генетического горизонта
* Возможно образование мраморовидного горизонта.			

Слабоглееватые горизонты отличаются тем, что площадь проективного покрытия пятнами оглеения в них более 5%, но не превышает 20%. Эти пятна в почвах суглинистого и глинистого состава имеют вытянутую вертикальную форму. Они приурочены к стенкам трещин и крупных биогенных пор, покрытых кутанами, т.е. к зонам наиболее вероятного застоя влаги и концентрации живых корней. В этом случае слабую глееватость обозначают индексом g'. В качестве дополнительного он входит в общий индекс генетического горизонта, например Bg'.

Среднеглееватые горизонты характеризуются проективным покрытием пятнами оглеения от 20 до 50%. Индекс среднеглееватого горизонта g". Пример общего индекса среднеглееватого иллювиального горизонта Bg".

Сильноглееватые горизонты отличаются проективным покрытием пятнами оглеения от 50 до 80%. Индекс сильноглееватого горизонта g'". Общий индекс иллювиального сильноглееватого горизонта $B_{g'''}$.

Общим признаком глееватых горизонтов является формирование в их толще ржаво-охристых пятен гидроокислов железа, а на начальных стадиях оглеения – темноокрашенных пятен окислов марганца.

Глееватые горизонты, возникающие в поверхностных слоях почвенного профиля в условиях застойно-промывного водного режима на кислых, нейтральных или выщелоченных породах, часто имеют характерную белесую окраску и кислую реакцию. В этом случае они содержат значительную массу ортштейнов — Mn, Fe (марганцево-железистых) конкреционных новообразований. Такие глееватые горизонты помимо дополнительного индекса g' характеризуются еще и индексом fs. Последний отражает присутствие ортштейнов (например, $A2_{g', fs}$ — подзолистый среднеглееватый горизонт с повышенным содержанием ортштейнов).

2.3.1. Морфология и диагностика глеевых горизонтов

Глеевые горизонты (индекс G) отличаются общим холодным цветом. В редуцированных глеевых горизонтах отсутствует окраска исходной почвообразующей породы. В легких почвах на кварцевых песках глеевые горизонты имеют светлый — голубовато-серый, светло-серый или белесый (в сухом состоянии) цвет. В суглинистых и глинистых почвах глеевые горизонты сизовато-серые, голубые, синеватые. Эти оттенки обусловлены преимущественно особенностями состава почвообразующих пород. По морфологии глеевые горизонты (глей) следует подразделять на:

1 — глей редуцированный фронтальный;
2 — глей окисленный фронтальный;
3 — глей ленточный или подвешенный;
4 — глей мраморовидный;
5 — глей струйчатый или локальный (табл. 2.4; рис. 2.3).

Глей ленточный или *подвешенный*, следует подразделять на следующие три подтипа: G_{b1} — глей на биогеохимическом барьере; G_{b2} — глей на мерзлотном водоупоре и G_{b3} — глей на суглинисто-глинистом водоупоре. Таким образом, следует признать наличие семи разновидностей глеевых горизонтов.

Глей редуцированный (индекс Gr) — однородно окрашенный в голубовато-сизый, синий или в голубовато-серый цвет горизонт

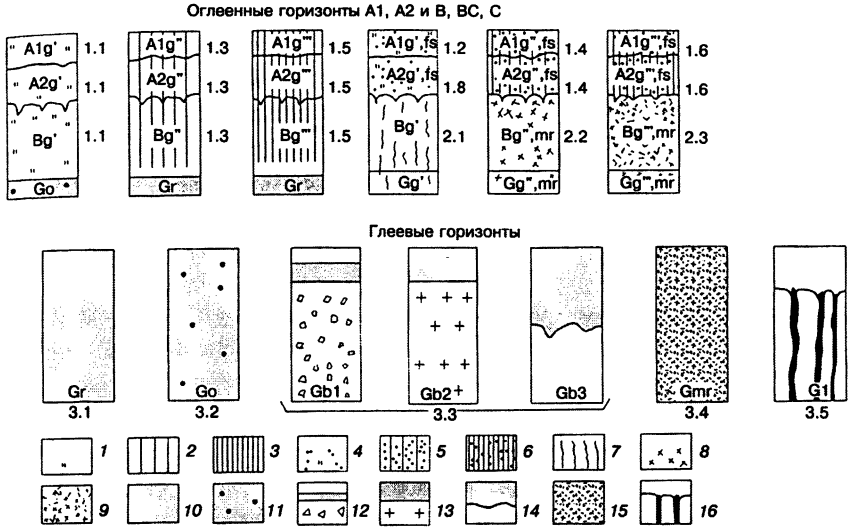


Рис. 2.3. **Морфология оглеенных и глеевых горизонтов почвенного профиля.Условные обозначения: оглеенные гор. A1, A2 и B, BC, C в легких почвах: *1* — слабооглеенный; *2* — среднеоглеенный; *3* — сильнооглеенный; оглеенные гор. A1, A2 в суглинистых и глинистых почвах; *4* — слабоглееватый сегрегированный; *5* — среднеглееватый сегрегированный; *6* — сильноглееватый сегрегированный; оглеенные горизонты B, BC, C в суглинистых и глинистых почвах; *7* — слабоглееватый; *8* — среднеглееватый мраморовидный; *9* — сильноглееватый мраморовидный. Глеевые горизонты: *10* — глей редуцированный фронтальный; *11*— глей окисленный фронтальный; *12* — глей ленточный или подвешенный (G_{b1} — глей на контакте выщелоченных и карбонатных горизонтов; G_{b2} — то же на льдистом водоупоре; G_{b3} — то же на суглинистом или глинистом водоупоре); G_{mr} — глей мраморовидный фронтальный; G_l — глей локальный или струйчатый. Цифры справа у колонок верхнего ряда — номер описания оглеенного горизонта в табл. 2.4 ; Цифры снизу у колонок нижнего ряда — номер описания глеевого горизонта в той же таблице**

почвенного профиля. Обычно он имеет значительную мощность, часто превышающую 1–1,5 м. В песчаных и пойменных суглинистых и глинистых почвах их мощность нередко превышает 5–10 м. В слабоводопроницаемых почвах, заболоченных поверхностными (намывными склоновыми) водами, мощность фронтальных глеевых горизонтов невелика и обычно книзу имеет четко выраженный переход к неоглеенной толще почвообразующей породы. Глей формируется в условиях постоянного или весьма длительного застойного водного режима и устойчивого анаэробиоза. Глей

редуцированный может возникать в почвах любого гранулометрического состава и генезиса независимо от причин их переувлажнения. Так, его возникновение возможно под влиянием пресных поверхностных – атмосферных, намывных склоновых и русловых, а также под воздействием грунтовых или напорных вод.

Глей окисленный (индекс Go) характеризуется присутствием ржаво-охристых крупных и мелких пятен, равномерно рассеянных по общему фону глеевого горизонта, окрашенного в холодный цвет. Такие пятна занимают до 20% общей площади горизонта. Появление таких пятен по общему холодному фону этого вида глея связано с двумя причинами. Во-первых, с точечным окислением глея по ходам корней крупностебельных гидрофильных растений (камыша, тростника, рогоза и др.) с развитой аэрэнхимой. Во-вторых, ржаво-охристые пятна в глее окисленном могут появиться при кратковременной смене постоянного застойного водного режима на застойно-промывной. Обычно глей окисленный имеет относительно небольшую мощность.

Глей ленточный, или подвешенный (индекс Gb), формируется в условиях переувлажнения поверхностных горизонтов почв на карбонатных породах. Он располагается на контакте выщелоченных верхних слоев и нижних карбонатных горизонтов. Так, глей ленточный отчетливо проявляется в профиле дерново-глеевых, перегнойно-глеевых и торфянисто-глеевых почв на красноцветном карбонатном элювии пермских глинистых сланцев и в почвах на других карбонатных породах. Несмотря на то, что весь профиль таких почв длительно или практически постоянно находится в условиях субаквального водного режима, морфохроматические признаки оглеения в этом случае проявляются только в выщелоченной контактной зоне. Последнее происходит потому, что в более глубоких слоях значительные резервы карбонатов полностью нейтрализуют кислые продукты разложения почвенной органики в анаэробной среде.

Таким образом исключается возможность действия основного механизма глееобразования — обезжелезнения минерального субстрата. Глеевый горизонт в таких условиях узкой лентой мощностью 10–30 см маркирует верхнюю кровлю карбонатной толщи. Генезис глея ленточного в этом случае детерминирован двумя факторами — водным режимом почв и их минералогическим

составом. Вместе с тем, глей ленточный может формироваться и в легких кислых почвах высоких широт (в почвах тундры, лесотундры, северной тайги) на мощных мерзлотных водоупорных горизонтах, а также на других локальных водоупорах (например, на суглинистых или глинистых иллювиальных слабоводопроницаемых слоях профиля или в легких горизонтах, подстилаемых суглинисто-глинистыми отложениями, в почвах на двучленных отложениях).

Глей мраморовидный (индекс Gmr) встречается только в суглинистых и глинистых почвах. Мраморовидная окраска глеевого горизонта (мраморовидный горизонт — термин предложен W. Laatsch, 1957) обусловлена застоем влаги в сложной сети трещин, возникающих между структурными отдельностями горизонтов почвенного профиля. Проникновение влаги внутрь структурных отдельностей в этом случае ограничено присутствием в них защемленного воздуха. В результате возникает сложный «мраморовидный» рисунок, представляющий собой бесконечное чередование участков интенсивного холодного сизовато-серого, голубоватого или синего цвета, ржаво-бурых пятен аморфного гидроокисного железа и незначительных по площади фрагментов породы, сохранившей свой исходный цвет. Общая площадь проективного покрытия ржаво-охристыми пятнами и фрагментами неоглеенной исходной породы не превышает 20% общей площади горизонта глея мраморовидного.

Глей струйчатый или локальный (индекс G_l) возникает в зонах активно действующих крупных трещин, имеющих преимущественно вертикальное простирание. Возможно, формирование таких трещин связано с явлениями глубокого промерзания почв и криотурбации. Однако само устойчивое существование глея струйчатого, несомненно, обусловлено рецентным гидрологическим режимом почв. Таким образом, глей струйчатый возникает в зонах активно действующих крупных трещин, вокруг которых образуются характерные ареалы интенсивного оглеения, окрашенные в холодные цвета. Глей струйчатый формируется на фоне генетических горизонтов или породы, сохраняющих преимущественно теплую окраску.

Приведенный в табл. 2.4 перечень горизонтов, возникающих под влиянием глееобразования, остается, однако, неполным, поскольку в нем рассмотрены лишь те из них, которые несут морфологические признаки оглеения в виде характерной холодной окраски. Вместе с

тем ранее нами было показано, что в условиях застойно-промывного режима на кислых и выщелоченных породах всегда формируются белесые, кислые горизонты, которые отличаются выносом железа, марганца, алюминия, потерей кальция, магния и илистой фракции, высоким содержанием подвижного алюминия. В суглинистых и глинистых почвах они содержат ортштейны, концентрация которых на начальных этапах переувлажнения обычно оказывается весьма значительной. В песчаных почвах в таких светлых кислых горизонтах ортштейны всегда отсутствуют.

Автором было показано, что подзолистые горизонты почв являются одной из морфологических форм глееобразования. Она проявляется в тех случаях, когда этот процесс протекает на кислых или выщелоченных породах в условиях застойно-промывного водного режима. Такие светлые белесые кислые элювиальные горизонты (гор. А2 или EL), образованные в результате кратковременного глееобразования, не несут «глеевой» сизой, голубоватой, синей окраски. Тем не менее, по своему генезису они являются прямым следствием процесса глееобразования. В естественных условиях встречаются три морфологические формы такого рода элювиальных горизонтов (рис. 2.4, табл. 2.5). Кроме того, к образованиям, являющимся прямым следствием оглеения, следует отнести и кварцевую присыпку. Выше подчеркивалось, что при оглеении происходит растворение железистых пленок, покрывающих поверхность минеральных зерен почвенного мелкозема. Обезжелезнение (т.е. оглеение) кварцевых

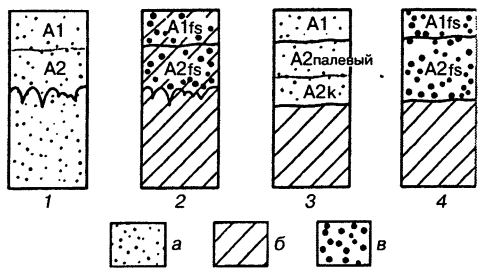


Рис. 2.4. **Светлые кислые элювиальные (подзолистые) горизонты, возникающие в результате кратковременного оглеения на фоне застойно-промывного водного режима.** ***Условные обозначения горизонтов: 1*** **— элювиальный; 2 — элювиально-сегрегационный;** ***3*** **— элювиально-контактный;** ***4*** **— элювиально-контактный сегрегационный.** ***Условные обозначения гранулометрического состава: а*** **— супесчано-песчаный;** ***б*** **— суглинисто-глинистый;** ***в*** **— конкреционные новообразования**

частиц или частиц полевого шпата определяет появление в профиле характерной белесой присыпки (скелетаны). Белесая присыпка может возникать в результате кратковременного оглеения. В этом случае профиль почвы сохраняет преимущественно теплую окраску. Вместе с тем присыпка нередко формируется в условиях продолжительного переувлажнения и отчетливо проявляется на фоне глееватых горизонтов.

Таблица 2.5

Светлые кислые элювиальные (подзолистые) горизонты и новообразования в почвах на кислых или выщелоченных породах, возникающие в результате кратковременного оглеения на фоне застойно-промывного водного режима

№	Горизонт или новообразование	Индекс	Морфологические особенности, условия образования
1	Элювиальный	A2 (E)	Возникает в профиле легких почв под влиянием застоя верховодки на мерзлотном водоупоре или при неглубоком залегании грунтовых вод
2	Элювиально-сегрегационный	A2 (El,g,fs)	Формируется в профиле почв суглинистого и глинистого состава под влиянием поверхностных вод на минеральном или мерзлотном водоупоре. Непременно присутствие Mn-Fe ортштейнов
3	Элювиально-контактный или элювиально-контактный сегрегационный	A2 (E)k A2 (E)k,fs	Формируется в профиле почв на двучленных породах в результате кратковременного застоя поверхностных вод на суглинистом или глинистом водоупоре. При малой мощности верхнего песчано-супесчаного наноса (60 см) возможно образование Mn-Fe ортштейнов
4	Кварцевая белесая присыпка	p	Возникает в профиле почв на кислых или выщелоченных суглинистых и глинистых породах в условиях застойно-промывного водного режима

2.4. Конкреционные и неконкреционные новообразования, их генезис и диагностическое значение при эколого-мелиоративных изысканиях и исследованиях минеральных и торфяных почв

По составу и свойствам новообразований можно не только судить о генетической принадлежности почв, но и успешно диагностировать их степень гидроморфизма, особенности водного режима, причины заболачивания, химический состав грунтовых вод, реконструировать

особенности переувлажнения почв в годы разной влажности. Между видом новообразований и эколого-гидрологическими особенностями данной почвы всегда существует тесная взаимосвязь. Это имеет не только актуальное научное, генетическое, но и существенное прикладное значение при агрономической, мелиоративной, лесохозяйственной и других оценках почв.

Особое значение приобретают конкреционные и неконкреционные новообразования, легко фиксируемые в профиле почв, при их полевом изучении. Только в этом случае оказывается возможным диагностировать свойства, режимы почв, их генетические, мелиоративные и экологические особенности в разрезе, не привлекая или существенно ограничивая аналитическую информацию.

В публикациях, посвященных конкреционным макроновообразованиям за исключением, вероятно, работ М.М. Филатова (1922, 1945), Т.В. Аристовской (1965) и *R. Brewer* (1964), содержатся, преимущественно, их описания как инертных элементов почвенного профиля. При этом остаются нераскрытыми условия формирования новообразований и взаимосвязь последних с генезисом и составом почв и почвообразующих пород, с особенностями их режима и гидрохимии вод. Как правило, не рассматриваются изменения свойств этих структур под воздействием естественных и антропогенных факторов, не анализируется или раскрывается весьма неполно диагностическое значение новообразований. Поэтому здесь особое внимание уделено расшифровке закономерностей изменения формы, химического состава и свойств новообразований при нарастании степени гидроморфизма почв, приуроченных к различным почвообразующим породам.

Это позволило затем впервые ввести количественные критерии степени заболоченности почв, связать особенности их гидрологического режима с агроэкологической и мелиоративной оценкой. Наконец, установлено, что свойства новообразований, как и почв в целом, подвержены адекватным изменениям под влиянием естественных и антропогенных факторов.

Особый интерес вызывает роль новообразований как источника памяти этапов эволюции почв, их формирования и развития на протяжении длительного периода. Полученные данные показывают, что железистые конкреционные макроновообразования по своей форме, составу, количеству, цвету стабильны только до тех пор, пока устойчиво сохраняется гидрологический режим почв. На этом стабильном

этапе возникающие в профиле почв конкреционные новообразования несут информацию о том режиме, который обусловил формирование адекватных по свойствам и составу конкреций. На этом отрезке времени новообразования сохраняют тесную связь с факторами, определяющими их формирование. Их генезис и свойства адекватны реальному водному режиму почв.

Однако эта связь (или память) не бесконечна, она быстро (через 3–4 года) прерывается, как только под влиянием природных или антропогенных факторов происходит изменение гидрологического режима почв. Такими факторами могут быть понижение или повышение базиса эрозии, изменение расположения гидрографической сети, дренаж территории, подъем или понижение уровня грунтовых вод в результате осушения и орошения, строительства водохранилищ и других причин. Эти изменения оказывают немедленное воздействие на численность, химический состав, размер конкреционных макроновообразований.

Происходит стирание всех признаков, присущих новообразованиям предшествующего периода, независимо от того, как долго он продолжался. Конкреции предшествующего периода постепенно исчезают и формируются новые генерации конкреционных образований, адекватных по своим признакам новому гидрологическому режиму почв.

Таким образом в железистых конкрециях сохраняется память об условиях их формирования только на протяжении определенного относительно стабильного периода их существования, т.е. до тех пор пока свойства этих новообразований остаются адекватными условиям их формирования и развития. При изменении этих условий предшествующая генерация конкреций постепенно заменяется новой генерацией железистых конкреционных новообразований с новыми свойствами и особенностями. Для того, чтобы раскрыть общие закономерности формирования конкреционных новообразований, понять генезис и оценить диагностическое и агроэкологическое значение этих элементов почвенного профиля необходимо классифицировать их на основе известных данных. В основу такой классификации положено деление конкреционных новообразований на четыре иерархические уровня — класс, тип, род и вид. Ниже приведены определения этих уровней.

Класс — отражает принадлежность новообразований к общности конкреционных или неконкреционных образований.

Тип — объединяет новообразования по общности их химического состава внутри класса.

Род — характеризует новообразования по общности двух важнейших признаков — формы и химического состава. В род входят несколько (или реже – один–два) видов.

Вид — новообразований определяется общностью цвета, формы, размера и химического состава.

Таким образом, разработанная классификация новообразований почв лесной и лесостепной зон [*Zeidelman*, 1974; Зайдельман, 1981, 1991] строится на основе оценки их формы, размера, цвета и химического состава.

2.4.1. Марганцево-железистые и железистые конкреционные новообразования

В табл. 2.6 (схема 1) рассмотрено классификационное положение марганцево-железистых и железистых конкреционных новообразований на типовом, родовом и видовом уровнях [Зайдельман, Никифорова, 2001].

2.4.1.1. Круглые или эллипсовидные гладкие конкреции

2.4.1.1.1. Ортштейны

Ортштейны – Mn–Fe конкреционные почвенные новообразования округлой или овальной формы с максимальным размером до 20 мм. Ортштейны образуются, главным образом, в поверхностных элювиальных горизонтах подзолистых, болотно-подзолистых, серых лесных глеевых и, реже, дерново-глеевых почв. Они могут встречаться и в почвах с недифференцированным профилем (например, в пойменных дерновых зернистых оглеенных почвах). Ортштейны формируются в суглинисто-глинистых почвах разной степени оглеения в условиях переувлажнения или заболачивания поверхностными (атмосферными, намывными склоновыми или русловыми) водами. Эти конкреционные новообразования формируются и в почвах легкого гранулометрического состава, образованных на маломощных двучленных отложениях при

Таблица 2.6

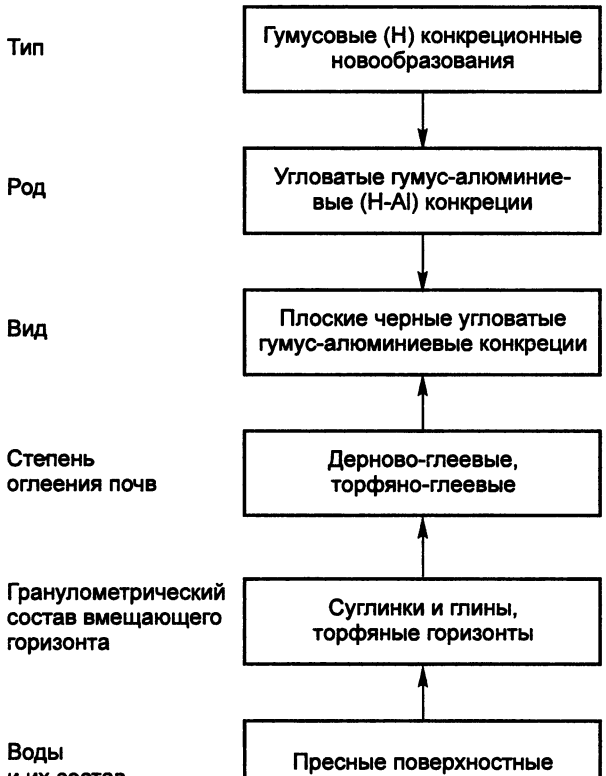
Классификация конкреционных и неконкреционных макроновообразований почв лесной и лесостепной зон, их диагностическое значение и связь со степенью увлажнения и химическим составом вод

Класс — конкреционные новообразования. Схема 1



Продолжение таблицы 2.6

Класс — конкреционные новообразования. Схема 2



Класс — конкреционные новообразования. Схема 3



Продолжение таблицы 2.6

Класс — неконкреционные новообразования. Схема 4



Класс — неконкреционные новообразования. Схема 5



залегании легкого маломощного (50–60 см) супесчано-песчаного наноса на карбонатных или кислых моренных, покровных, пермских, ленточных и других суглинистых и глинистых отложениях. Ниже приведена характеристика ортштейнов по результатам исследований [Зайдельман, Никифорова, 2001].

Ортштейны являются индикатором глееобразования, возникающего в результате переувлажнения почв поверхностными пресными водами в условиях застойно-промывного режима. Они присутствуют, в основном, в гумус-аккумулятивном (A_1), элювиальном (A_2) и, в меньшей мере, в элювиально-иллювиальных (A_2B) горизонтах. Ортштейны известны давно.

Однако, впервые четкое разделение и определенные дефиниции для ортштейной и ортзандов были даны В.В. Геммерлингом (1922). Он предложил называть ортштейнами округлые конкреции, а для железистых цементационных новообразований песчаных почв сохранить термин ортзанд. Термины «ортштейн» и «ортзанд» в трактовке В.В. Геммерлинга вошли в почвенную литературу Их широко используют в настоящее время.

Т.В. Аристовская (1965; 1975; 1980 и др.) установила определяющее значение микрофлоры в формировании почвенных конкреционных новообразований. В настоящее время показано, что существуют специфические (например, бактерии рода *Leptothrix* и *Metallogenium*) и неспецифические микроорганизмы, составляющие более 50% обычной микрофлоры (например, многочисленные штаммы *Pseudomonas sp.*, маслянокислые бактерии), которые способны как восстанавливать железо и марганец, так и окислять эти элементы.

Известно, что количество ортштейнов в почвах значительно возрастает с нарастанием степени их заболоченности. Это особенно отчетливо заметно при переходе от автономных к супераквальным ландшафтам G Krauss, F Hartel et al. (1939) отметили тесную связь ортштейнообразования с почвенным гидроморфизмом и скопление конкреций в «глеевидных» почвах (*gleyartige Boden*). M Drosdoff, C. Nikiforoff (1940) связали образование ортштейнов с процессом оглеения Авторы писали о том, что «образование железо-марганцевых конкреций, по-видимому, является типичной чертой в определенной степени плохо дренированных почв, которые периодически испытывают сезонное переувлажнение Фактически

все эти почвы характеризуются сильным развитием «глея» (с. 345). P. Brewer (1964); Z. Racz (1964) также указали на тесную связь этих новообразований с процессом глееобразования. Ф.Р. Зайдельман (1974), *U. Shwertmann, D.S. Fanning* (1976) и другие показали, что под влиянием нарастающего гидроморфизма происходит трансформация химического состава ортштейнов.

Все исследователи единодушны в том, что непременным условием образования конкреций является чередование окислительных и восстановительных процессов и глееобразование. Для формирования Mn–Fe конкреций необходимо и достаточно наличия в почвах и почвенных растворах подвижных форм железа и марганца, других элементов; чередования окислительных и восстановительных условий, периодов избыточного увлажнения и иссушения почвенного профиля; присутствия гетеротрофных и автотрофных микроорганизмов, которые осуществляют как мобилизацию Fe и Mn, так и их отложение; наличия центров конкрециеобразования – минеральных зерен, биолитов и др.

Ортштейны являются индикатором глееобразования, возникающего в результате переувлажнения почв поверхностными пресными водами в условиях застойно-промывного режима. Они присутствуют в основном в гумус-аккумулятивном (A_1), элювиальном (A2) и в меньшей мере в элювиально-иллювиальном (A2B) горизонтах. В почвах начальных стадий оглеения, не несущих морфохроматических признаков этого процесса в виде характерных синих, сизых, голубых пятен, **ортштейны имеют темно-серый цвет** и округлую дробовидную форму (рис. 2.5). В этом случае они содержат равные или близкие абсолютные массы Fe и Mn. В неоглеенных почвах **мелкие темно-серые ортштейны** составляют до 50% всей массы ортштейнов, в которой содержатся и **мелкие бурые ортштейны** (рис. 2.6). С появлением четких морфохроматических признаков оглеения в составе ортштейнов преобладают **бурые конкреции**, в том числе и крупные бурые Mn-Fe ортштейны (рис. 2.7).

В состав рода округлых и эллипсовидных конкреций входят **примазки** — гладкие конкреционные железистые новообразования иллювиальных горизонтов суглинистых и глинистых почв. Независимо от степени заболоченности они обычно характеризуются близкими размерами и составом. Примазки имеют темно-бурый цвет. Их размер колеблется в интервале от 5 до 15 мм. Размер примазок несущественно увеличивается с нарастанием заболоченности почв. В

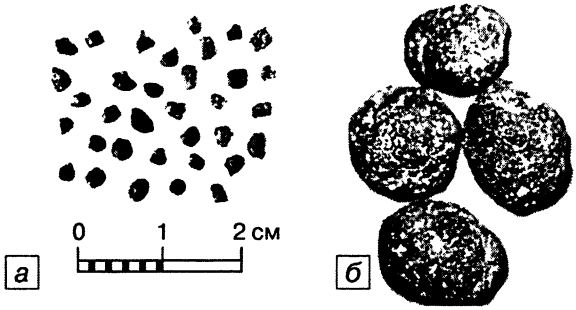


Рис. 2.5: а) **Темно-серые мелкие Mn-Fe ортштейны из дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы; *б)* те же ортштейны при бинокулярной съемке (×8, фото П. Меннинга)**

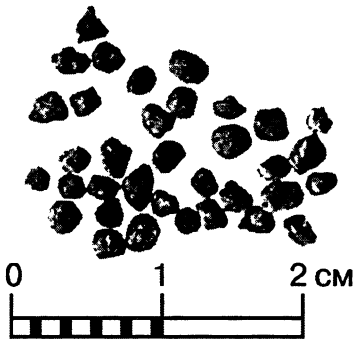


Рис. 2.6. **Бурые мелкие Mn-Fe ортштейны из дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы**

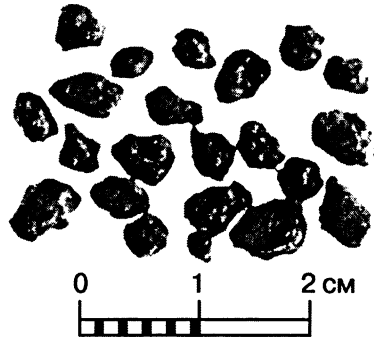


Рис. 2.7. **Крупные бурые Mn-Fe ортштейны из дерново-подзолистой глееватой тяжелосуглинистой почвы**

почвенном разрезе при повреждении этих новообразований лопатой возникают темноокрашенные следы в виде темных вертикальных штрихов, узких продолговатых пятен и др. Они редко встречаются в неоглеенных почвах, обычно представлены в глубокооглеенных и глееватых и почти отсутствуют в глеевых почвах, преимущественно переувлажненных или заболоченных поверхностными водами.

Диагностические особенности овальных и эллипсовидных Mn-Fe и Fe конкреций рассмотрены в табл. 2.7.

Интенсивность конкрециеобразования в почвах на всех исследованных почвообразующих породах определяется степенью их заболоченности и находится в тесной связи с гидрологическим режимом. Независимо от генезиса и состава кислых и выщелоченных почвообразующих пород всегда в ряду дерново-подзолистые – дерново-подзолистые глееватые (на лессовидных породах — дерново-подзолистые глеевые) почвы наблюдается увеличение

общего содержания ортштейнов (рис. 2.8). Дальнейшее усиление заболачивания сопровождается, как правило, постепенным уменьшением количества Mn-Fe ортштейнов. В торфянисто-глеевых почвах ортштейны обычно отсутствуют, а максимум конкрециеобразования имеет место преимущественно в глееватых почвах.

Таблица 2.7

Диагностическое значение круглых или эллипсовидных Fe–Mn, Fe конкреций

Новообразования	Морфология, химические и физические свойства	Диагностическое значение
Темно-серые, иногда черные мелкие ортштейны (рис. 2.4)	Железисто-марганцевые новообразования шарообразной формы диаметром до 2, реже 5 мм. На изломе металлический блеск. Строение кристаллическое. В крупных экземплярах прослеживается концентрическая слоистость, Mn ≥ Fe	Темно-серые мелкие ортштейны обычно встречаются в суглинистых и глинистых неоглеенных или слабооглеенных почвах, избыточное увлажнение которых обусловлено преимущественно поверхностными водами. Почти повсеместно приурочены к аккумулятивным и элювиальным горизонтам
Бурые мелкие ортштейны (рис. 2.5)	Железистые шарообразные новообразования диаметром до 2–3 мм ржаво-серой окраски	Бурые мелкие ортштейны. Имеют широкое распространение. Наиболее часто встречаются в суглинистых и глинистых почвах средне- и сильнооглеенных, заболоченных поверхностными водами
Бурые крупные ортштейны (рис. 2.6)	Железистые овальные или слегка угловатые новообразования ржаво-серой окраски. В легко- и среднесуглинистых почвах достигают 10–15 мм, в тяжелсуглинистых и глинистых 6–8 мм	Бурые крупные ортштейны. Типичны для суглинистых и глинистых глееватых и глеевых подзолистых поверхностно заболоченных почв. Встречаются в почвах на двучленных отложениях. Обычно отсутствуют в неоглеенных почвах
Примазки	Темноокрашенные, эллипсовидные, слегка угловатые новообразования иллювиальных горизонтов подзолистых суглинистых и глинистых почв (5–15 мм). Размер возрастает с нарастанием заболоченности. В разрезе при повреждении лопатой остаются темноокрашенные следы — «примазки»	Примазки встречаются редко в неоглеенных, обильно — в глубокооглеенных и глееватых почвах преимущественно поверхностного заболачивания

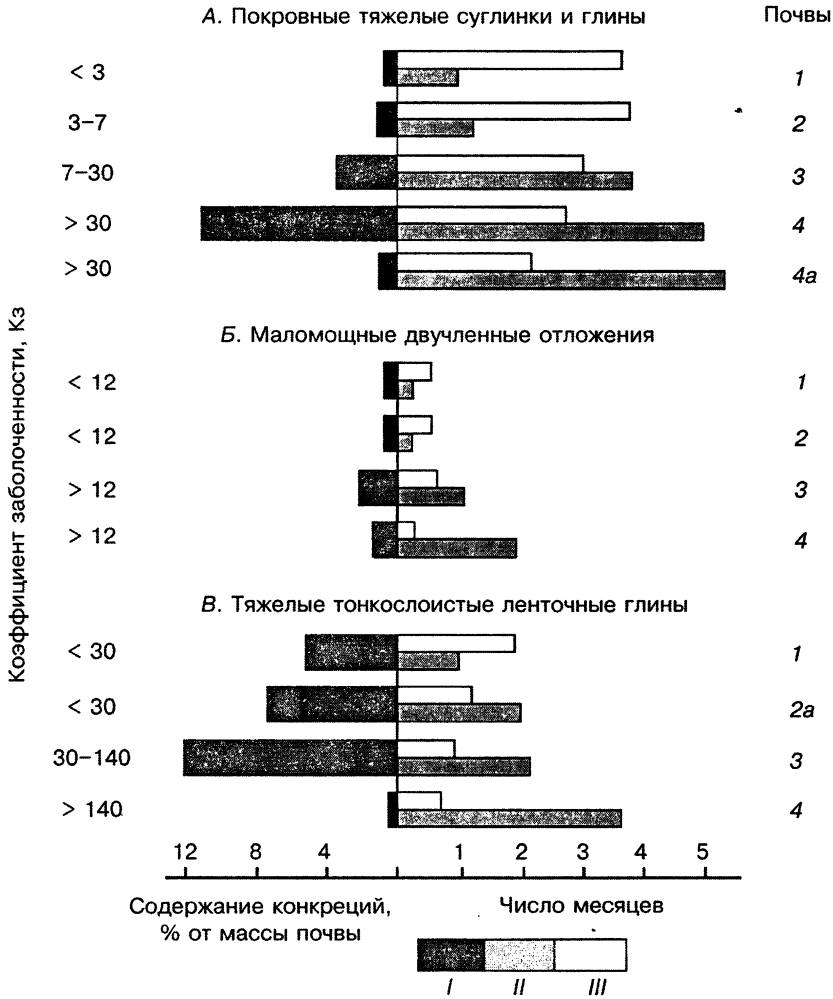


Рис. 2.5. **Особенности водного режима, масса и свойства Mn-Fe конкреций почв на разных почвообразующих породах. *I* — содержание конкреций в гор. $A_{пах}$, % от массы почвы; *II* — время полного обводнения во влажные годы (слой 0–30 см); *III* — влажность < 0,7 ППВ в средние годы (слой 0–30 см). *Почвы*: *1* — дерново-подзолистые; *2* — то же глубокооглеенные; *2а* — то же слабоповерхностнооглеенные; *3* — то же глееватые; *4* — то же глеевые: *4а* — дерново-глеевые. Коэффициент заболоченности — Кз = Fe/Mn, извлекаемых 1 н. H_2SO_4 из стандартной навески, приготовленной из смеси ортштейнов > 1 мм, после их растирания в фарфоровой ступке и просеянной через сито 0,25 мм**

2.4.1.2. Овальные плоские крупные раковистые железистые конкреции

Род **овальных плоских крупных раковистых Fe конкреций** объединяет новообразования, возникающие в почвах при близком залегании ожелезненных грунтовых вод с высокой концентрацией двухвалентного железа. В состав этого рода входят три вида конкреций — дерновая руда, рудяк и железистые коры. Род приурочен, как правило, к локальным территориям, в грунтовых водах которых значительно содержание закисного железа.

Эти конкреции в прикладном отношении являются надежным и четким индикатором вероятной угрозы закупорки закрытого дренажа гидроокисью железа (особенно пластмассовых дрен). Они также свидетельствуют о возможном ожелезнении почв и негативном влиянии железистых аккумуляций на развитие и урожай растений. Эти новообразования обычно формируются в профиле ожелезненных оглеенных почв, образуя хорошо выраженные горизонты скопления крупных конкреций. Овальные плоские крупные раковистые Fe конкреции присутствуют в профилях дерново-подзолистых оруденелых, дерновых коровых, дерновых ожелезненных глееватых и реже — глеевых почв.

После изменения естественного водного режима в результате осушения дерновая руда, рудяк и железистые коры подвергаются выветриванию. Поверхностные горизонты таких почв обогащаются гидрооксидными соединениями трехвалентного железа, которые отрицательно влияют на плодородие почв.

2.4.1.2.1. Дерновая руда

Дерновая руда (синоним — «жерства») — округло-плоские ржаво-бурые, плотные конкреционные новообразования по наибольшей длине 1–4 см (рис. 2.9). Приурочены преимущественно к поверхностному (дерновому) горизонту. Встречается в глеевых почвах легкого (песчано-супесчаного) гранулометрического состава в приболотном поясе полесских, пойменных и моренных ландшафтов зоны избыточного увлажнения. Внешняя поверхность шероховатая или раковистая. Дерновая руда образуется в условиях близкого залегания ожелезненных (Fe 8–20 мг/л) грунтовых вод. Содержание таких конкреций от массы вмещающего горизонта достигает 5–12%.

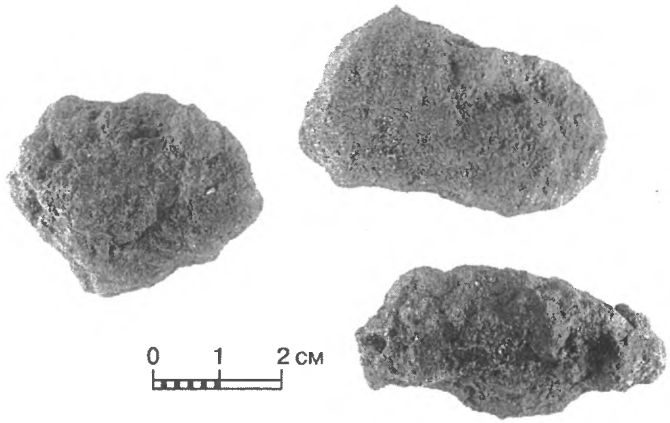


Рис. 2.9. **Дерновая руда из дерново-подзолистой глеевой почвы супесчано-суглинистого состава, заболоченной ожелезненными грунтовыми водами**

Легко диагностируется визуально. При проходке почвенных выработок лопатой возникает характерный скрипящий звук. Это определило второе название новообразования – жерства.

2.4.1.2.2. Рудяк

Рудяк — округло-плоское ржаво-бурое плотное конкреционное лимонитовое новообразование по наибольшему диаметру 5–30 см. Высота отдельностей рудяка достигает 10–15 см. Внешняя поверхность неровная раковистая (рис. 2.10). В редких случаях рудяковые отдельности достигают значительных размеров (до 30–40 см). Встречается в минеральных сильнозаболоченных (глеевых) почвах легкосуглинистого, супесчаного и песчаного состава, главным образом в полесьях. Рудяк легко диагностируется визуально. Не разрушается лопатой при проходке почвенных выработок. Индикатор на сильноожелезненные грунтовые воды (содержание Fe в воде 20–50 мг/л).

Рудяковые почвы, как правило, приурочены к супераквальным ландшафтам. В комплексе с рудяковыми расположены ортзандовые почвы, которые приурочены к территориям с грунтовыми водами с относительно небольшим содержанием железа.

Рудяковые горизонты, возникающие таким образом, отличаются не только высоким содержанием общего железа, но и повышенными (по сравнению с другими горизонтами профиля) концентрациями

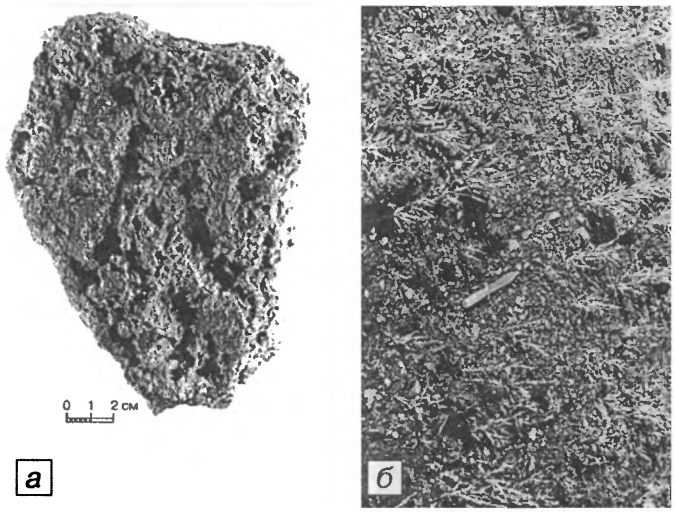


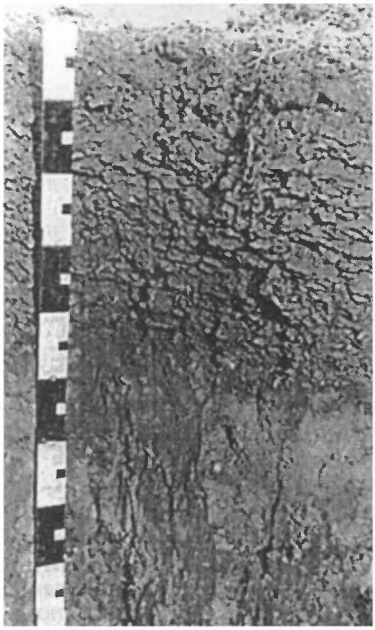
Рис. 2.10. а) **Рудяк (рудяковая отдельность) из дерново-сильноподзолистой оруденелой глеевой супесчано-суглинистой почвы, заболоченной силь-ноожелезненными грунтовыми водами (почва близко подстилается юрскими глинами, обогащенными пиритом, Московская Мещера);** ***б)*** **на поверхности рудяковой почвы после ее осушения и распашки обилие мелких фрагментов разрушенного рудяка**

титана, фосфора, щелочноземельных металлов и часто марганца. Рудяковые горизонты этих почв содержат от 30 до 40% Fe_2O_3, в то время как в выше- и нижележащих горизонтах концентрация Fe_2O_3 не превышает 0,30–1,60%.

Рудяковые новообразования являются индикатором несомненной угрозы закупорки дренажа гидроокисью железа. Строительство закрытого дренажа здесь возможно только в том случае, если предусмотрены повышенные уклоны дрен (больше 0,005) и коллекторов, применение дрен крупного диаметра (7,5–10 см), ингибиторов железобактерий и др. [Зайдельман, 1991; Kuntze, 1984].

2.4.1.2.3. Железистые коры

Железистые коры — железистый мощный горизонт, образованный множеством крупных несцементированных рудяковых отдельностей. Железистые коры залегают непосредственно на поверхности и распространяются вглубь почвы на несколько дециметров (рис. 2.11). Обычно мощность железистых



кор составляет 30–60 см. Этот железистый панцирь не пробивается лопатой при проходке почвенных разрезов.

В табл. 2.8 рассмотрено диагностическое значение плоских крупных раковистых железистых конкреций.

Рис. 2.11. **Железистая кора глеевой почвы, заболоченной сильноожелезненными грунтовыми водами. Почва близко подстилается юрскими глинами, обогащенными пиритом. Московская Мещера**

Таблица 2.8

Диагностическое значение овальных плоских крупных раковистых железистых конкреций

Новообразования	Морфология, химические и физические свойства	Диагностическое значение
Дерновая руда (рис. 2.8)	Железистые округлые конкреционные стяжения буро-ржавого цвета, 1–5 см в диаметре. Поверхность шероховатая, реже раковистая	Дерновая руда встречается в дерновом горизонте преимущественно легких глеевых почв, заболоченных ожелезненными водами с содержанием Fe < 20 мг/л
Рудяк (рис. 2.9)	Бурые отдельности лимонита, образующие плоские плиты, часто не пробиваемые лопатой. Внешняя поверхность неровная, раковистая. Наибольшая длина — до 30 см, высота — 10–15 см, реже больше. Mn < Fe	Рудяк формируется в песчаных или супесчаных почвах, сильно заболоченных грунтовыми водами с высоким содержанием железа (20–50 мг/л). Под рудяковым горизонтом обычно залегают суглинистые слои
Железистые коры (рис. 2.10)	Мощные скопления рудяка, образующего бурые железистые коры, нередко с поверхности до глубины 0,5–0,8 м; Fe абсолютно преобладает	Современные железистые коры приурочены к приболотному поясу; формируются на породах легкого состава в зонах выклинивания сильно ожелезненных (50–100 мг/л) грунтовых вод (железистые «солончаки» таежной зоны)

2.4.1.3. Трубчатые конкреции

Трубчатые конкреции (роренштейны от нем. *Rohr* — труба, трубка; педотубулы по *R. Brewer*) — широко распространенный тип новообразований автоморфных и гидроморфных почв гумидных ландшафтов. Несмотря на значительное разнообразие, обусловленное, прежде всего, генезисом и составом почвообразующих пород, эти новообразования имеют ряд общих признаков. Они обладают вытянутой формой, характерным сквозным каналом и повторяют форму корней, вокруг которых возникают сцементированные цилиндрические отложения трехвалентной гидроокиси железа (рис. 2.12). Этим определяется их характерная форма, буро-охристая, ржаво-бурая и охристая окраска. Встречаются три вида таких конкреций — конкреции крупные, мелкие и железистые корневые чехлики.

2.4.1.3.1. Крупные трубчатые конкреции

Крупные трубчатые конкреции формируются в крупнопористых

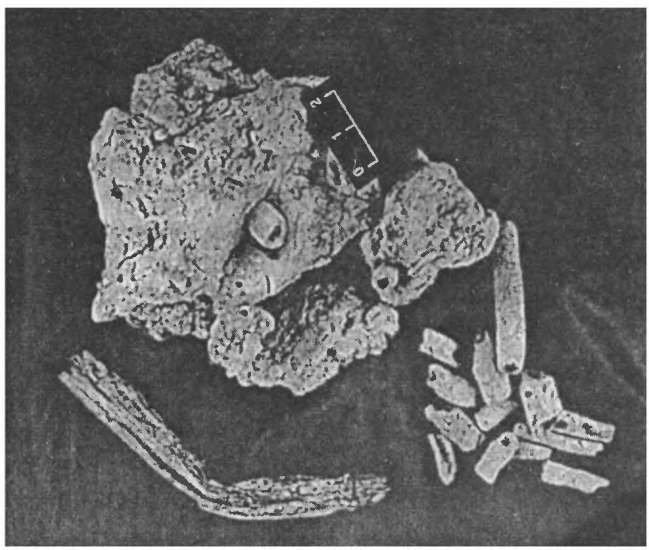


Рис. 2.12. **Бурые крупные трубчатые конкреции из профиля дерново-глеевых глинистых почв долины р. Сусунай, о. Сахалин. Корень тростника, обогащенный аэренхимой, вокруг которого происходит осаждение гидроокиси железа и образование крупных трубчатых конкреций**



Рис. 2.13. **Бурая крупная трубчатая конкреция из профиля глееватой супесчано-суглинистой почвы, заболоченной сильноожелезненными грунтовыми водами. Московская Мещера**

глееватых и глеевых почвах различного генезиса. Обычно они распространены в тяжелых пойменных, в оглеенных подзолистых легкосуглинистых почвах поверхностного, а в песчано-супесчаных почвах — грунтового заболачивания. Часто встречаются в полесьях в зонах распространения ожелезненных грунтовых вод. В этом случае формируются плотные крупные трубчатые конкреции с шероховатой поверхностью буровато-серого цвета (рис. 2.13). Их длина обычно равна 30–80, диаметр 5–20, 25 мм.

Крупные трубчатые конкреции структурных хорошо агрегированных пойменных почв обычно имеют меньшую длину — 30–50 мм и ровный ржаво-бурый цвет (рис. 2.14).

Крупные трубчатые конкреции по сравнению с вмещающим горизонтом характеризуются значительным накоплением фосфора и железа, часто — марганца (обычно в почвах начальных стадий оглеения) и несущественным — алюминия. По сравнению с

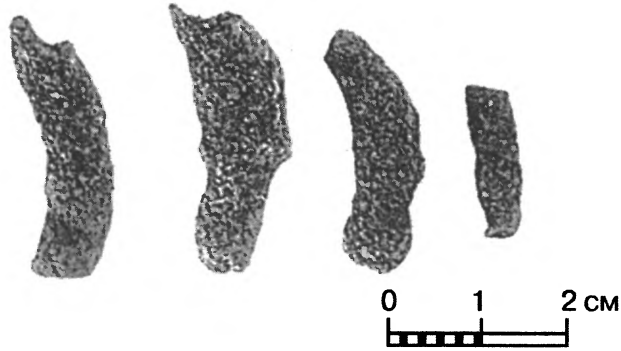


Рис. 2.14. **Бурые крупные трубчатые конкреции из профиля дерновой зернистой пойменной глееватой глинистой почвы. Раменская пойма р. Москвы**

вмещающим мелкоземом в трубчатых конкрециях резко возрастает соотношение Fe/Mn (табл. 2.14, стр).

2.4.1.3.2. Мелкие трубчатые конкреции

Мелкие трубчатые конкреции отличаются тем, что образуются не только в профиле оглеенных, но и автоморфных почв. Как правило, это новообразования иллювиальных горизонтов суглинистых и глинистых почв. Их возникновение в профиле автоморфных почв связано с локальным застоем влаги и поступлением в почвенный раствор двухвалентного железа с его последующим осаждением в виде трехвалентной гидроокиси железа вокруг некрупных корней растений (рис. 2.15). Ржаво-бурые мелкие трубчатые конкреции имеют длину не более 1–12 мм. В их средней части, как и в крупных ророртштейнах, проходит сплошной канал.

2.4.1.3.3. Железистые корневые чехлики

Железистые корневые чехлики — свежие отложения яркоокрашенной гидроокиси железа на мелких корнях травянистой растительности. Они возникают на корнях растений при высыхании верхних горизонтов глееватых и особенно глеевых суглинистых и глинистых почв разного генезиса. Их наличие можно легко обнаружить, если резко вырвать корни травянистой растительности из почвенного мелкозема гумус-аккумулятивного или пахотного горизонтов.

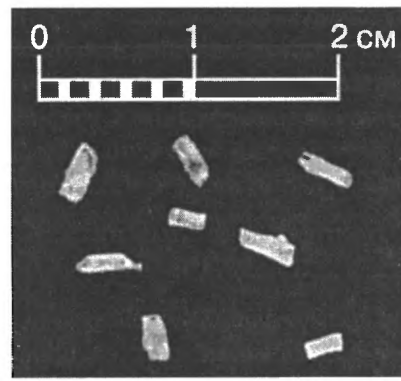


Рис. 2.15. **Ржаво-бурые мелкие трубчатые конкреции из иллювиального горизонта дерново-подзолистых глубокооглеенных тяжелосуглинистых почв. Клинско-Дмитровская моренная гряда, запад Московской области**

2.4.2. Гумусовые конкреционные новообразования

Гумусовые конкреции — новообразования гидроморфных почв с высоким содержанием органического вещества. Они встречаются в

верхних горизонтах дерново-глеевых и более заболоченных (торфянисто-глеевых, торфяно-глеевых) почв поверхностного и грунтового заболачивания. Как правило, они имеют глубокий черный цвет, обладают значительной механической прочностью, невысокой плотностью сложения (менее 1,0 г/см^3).

Черные гумусовые конкреции — устойчивые индикаторы интенсивного переувлажнения почв. Вероятно, их формирование связано с необратимой коагуляцией органических и минеральных коллоидов трехвалентными металлами — железом и алюминием.

В настоящее время в этом типе обнаружен только один вид новообразований – плоские черные угловатые гумус-железистоалюминиевые конкреции (см. табл. 2.6; продолжение, схема 2).

2.4.2.1. Плоские черные угловатые гумус-железистоалюминиевые конкреции

Плоские черные угловатые гумус-железистоалюминиевые конкреции были обнаружены в минеральных сильнозаболоченных и в торфяных почвах. В минеральных дерново-глеевых почвах они сосредоточены в поверхностном гумусовом горизонте. Здесь эти конкреции обычно невелики — 5–30 мм. Такие же легкие прочные конкреции неправильной ребристой формы в торфяных почвах имеют более крупный размер — от 20 до 50 мм и более (рис. 2.16). Плоские черные угловатые гумус-железистоалюминиевые

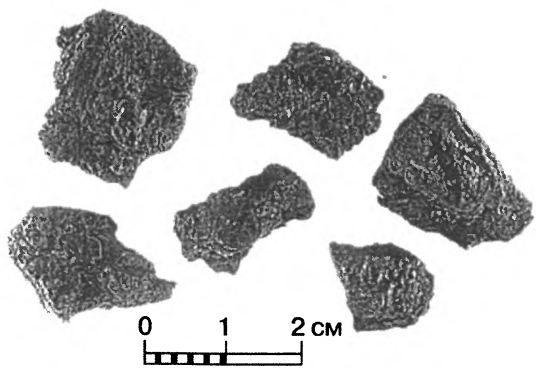


Рис. 2.16. **Черные плоские угловатые гумус-железистоалюминиевые конкреции из гор. Alg дерново-глеевой глинистой почвы. Запад Московской области**

конкреции обладают одной существенной особенностью – только в таких конкрециях почв гумидных ландшафтов обнаружено накопление алюминия (табл. 2.9). По отношению к вмещающему горизонту оно составило 30%, а к почвообразующей породе — 45%. Вместе с тем в этих конкрециях происходит значительное накопление фосфора (соответственно в 5 и 10 раз) и железа (в 2,7 раза). Эти конкреции практически не накапливают марганец и магний. Их присутствие указывает на длительное переувлажнение почв и возможность использования в естественном состоянии только в качестве низкопродуктивных лугов.

Таблица 2.9

Диагностические особенности железистых трубчатых и черных гумусово-алюминиевых конкреций

Новообразования	Морфология, химические и физические свойства	Диагностическое значение
Трубчатые Fe-конкреции		
Крупные трубчатые конкреции (рис. 2.12)	Ржаво-бурые новообразования червеобразной формы диаметром 5–12 мм, длиной 30–60 мм и более. В центре полый канал	Крупные трубчатые конкреции формируются в крупнопористых глеевых почвах различного генезиса. Обычны в тяжелых пойменных, легкосуглинистых подзолистых почвах поверхностного заболачивания, реже в легких почвах грунтового заболачивания
Мелкие трубчатые конкреции (рис. 2.14)	Ржаво-бурые короткие трубчатые новообразования длиной 1–12 мм. Mn < Fe	Мелкие трубчатые конкреции обычны для иллювиальных горизонтов оглеенных тяжелых почв, встречаются в неоглеенных почвах
Железистые корневые чехлики	Свежие отложения яркоокрашенной гидроокиси железа на мелких корнях травянистой растительности. Mn < Fe	Железистые корневые чехлики возникают на корнях травянистых растений при высыхании верхних горизонтов глееватых и особенно глеевых суглинистых и глинистых почв различного генезиса
Плоские угловатые H–Al (гумус-алюминиевые) конкреции		
Черные гумус-алюминиевые конкреции (рис. 2.15)	Легкие прочные конкреции аккумулятивных горизонтов неправильной ребристой формы, обогащенные гумусом и алюминием. Размер 5–50 мм. Al, Fe, следы Mn	Черные гумус-алюминиевые конкреции встречаются только в сильно заболоченных (дерново-глеевых, торфяно-глеевых) почвах; приурочены к горизонтам Ag''' или T

2.4.3. Известковые конкреции

Известковые новообразования, свойственные почвам лесостепной, степной и более засушливых зон, были подробно изучены многими ис-

следователями [Афанасьева, 1947; Валиахмедов, 1977; Добровольский, 1956, 1961; Македонов, 1966; Nikiforoff, 1937; и др.]. Значительно менее известны известковые конкреции почв лесной зоны и лесостепи. Причины возникновения в профиле почв этих зон карбонатных конкреционных новообразований связаны с двумя факторами — гидрогенной аккумуляцией извести при неглубоком залегании жестких гидрокарбонатно-кальциевых грунтовых вод или с наличием карбонатов кальция (и магния) в почвообразующих породах и горизонтах почв. По-видимому, в рассматриваемом ареале имеют место три группы почв, в профиле которых возникают такого рода новообразования. К ним относятся, во-первых, тяжелые в разной степени оглеенные дерново-подзолистые и подзолистые почвы на ленточных глинах в бассейнах Великих озер Русской равнины. Во-вторых, черноземно-луговые почвы равнинных пространств лесостепи и серые почвы южной тайги на слабокарбонатных лессовидных суглинках. В-третьих, почвы пойм рек лесостепной зоны в условиях активного влияния на почвообразование гидрокарбонатно-кальциевых грунтовых вод. Их классификация приведена в табл. 2.6 (продолжение), схема 3.

2.4.3.1. Известково-глинистые кольчатые вскипающие конкреции

2.4.3.1.1. Коричневато-серые известково-глинистые кольчатые конкреции

Впервые **известково-глинистые кольчатые конкреции** или **иматровые камни** были описаны Хофманом (цит. по Венюкову, 1881) в почвах на ленточных глинах в районе водопада Иматра, откуда они и получили свое название (рис. 2.17). Такие новообразования почв на карбонатных ленточных глинах широко распространены и в ряде других мест Карелии, а также в почвах на ленточных глинах Ленинградской [Дзенс-Литовский, 1942] и Новгородской областей. Таким образом, эти конкреции приурочены к почвам лесной зоны, развитым на эндемичных отложениях перигляциальных водоемов.

Формы иматровых камней весьма разнообразны — от округлых овальных плоских до причудливых неправильных.

По нашим наблюдениям [Зайдельман, 1981] такие новообразования имеют одно сквозное округлое отверстие

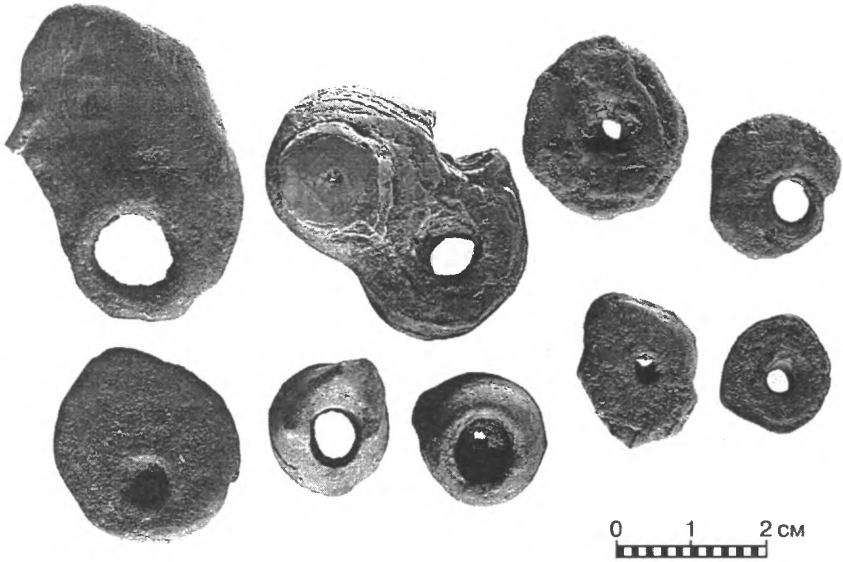


Рис. 2.17. **Коричневато-серые известково-глинистые кольчатые конкреции из профиля дерново-подзолистой глееватой глинистой почвы на ленточных тонкослоистых глинах (иматровые камни). Бассейн оз. Ильмень, Новгородская область**

различного диаметра. Это свидетельствует о том, что отложение извести могло идти вокруг корней древесной или кустарниковой растительности. Такие кольчатые известковые конкреции приурочены к глееватым и глеевым почвам на слабокарбонатных ленточных глинах. Кольчатые карбонатно-глинистые конкреции — овальные плоские образования, их длина по наибольшему диаметру 1,5–3,0 см, а высота — 3–7 мм. Цвет — теплый, бежевый. Кольчатые конкреции содержат около 68% $CaCO_3$, 32% SiO_2, 10% Al_2O_3 и 5% Fe_2O_3, MgO — 2,8%.

2.4.3.1.2. Светло-серые спайно-кольчатые известково-глинистые конкреции

Светло-серые спайно-кольчатые известково-глинистые конкреции — крупные новообразования (рис. 2.18). Их максимальная длина 5–12, высота 2–3 см. Могут иметь одно или более одного сквозных отверстий. Цвет серовато-бежевый или серый. Они слабо отличаются от кольчатых новообразований пониженным содержанием извести 40–55%, более высо-



Рис. 2.18. **Светло-серые известково-глинистые спайно-кольчатые конкреции из профиля дерново-слабоподзолистой остаточно-карбонатной глееватой глинистой почвы на ленточных тонкослоистых глинах. Бассейн оз. Ильмень. Новгородская область**

ким — SiO_2 — 32–42%, Al_2O_3 — 10–13%, Fe_2O_3 — 4–5% и MgO — 3,3–4%. На изломе спайно-кольчатых известково-глинистых конкреций можно легко обнаружить два слоя — наружный более светлый и внутренний — темного цвета и очень твердый, которые несколько отличаются по химическому составу.

Все эти новообразования формируются на глубине 70–100 см в ленточных (преимущественно тон- кослоистых) карбонатных глинах и приурочены к оглеенным (глееватым и глеевым) почвам.

Они возникают в условиях увлажнения и заболачивания поверхностными – атмосферными и намывными склоновыми водами. Эти конкреции, как и коричневато-серые известково-глинистые кольчатые, четко отражают генезис, химический состав почвообразующих пород (тонкослоистые карбонатные ленточные глины), факторы увлажнения, заболачивания почв и их гидрохимию (верховодка, связанная с поступлением атмосферных или (и) намывных пресных склоновых вод).

2.4.3.2. Круглые или эллипсовидные вскипающие железисто-известковые (Fe–Ca) конкреции

2.4.3.2.1. Бурые и коричневато-серые железисто-известковые ортштейны

В горизонтах распространения крупных карбонатных белесовато-серых конкреций (B_{kgCa}) или несколько выше зоны их

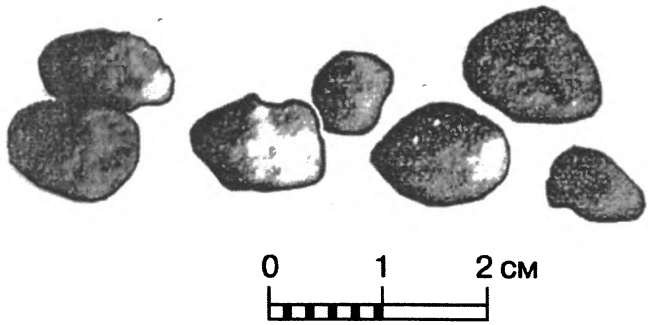


Рис. 2.19. **Бурые железисто-известковые конкреции из профиля пойменной луговой насыщенной слабоглееватой тяжелосуглинистой почвы поймы р. Дон на жестких грунтовых водах. Тульская область**

основной аккумуляции получили распространение новообразования, сочетающие признаки железисто-марганцевых ортштейнов и известковых (карбонатных) конкреций. В дальнейшем будем называть их бурыми эллипсовидными железисто-известковыми (Fe-Ca) конкрециями (рис. 2.19). Эти новообразования имеют бурый (до серовато-коричневого) цвет. Встречаются в пойменных почвах, заболоченных жесткими грунтовыми водами. Такие конкреции обычно представлены крупными (более 3 мм) и мелкими (менее 3 мм) отдельностями. Их максимальный диаметр достигает 10–12 мм. Бурые железо-известковые конкреции размером более 3 мм изменяют свой валовой химический состав с нарастанием степени заболоченности. Так, в ряду дерновые насыщенные неоглеенные – луговые глеевые почвы содержание извести изменяется от 8 до 15–19%, SiO_2 от 66 до 43%, Al_2O_3 от 10 до 7,7%, Fe_2O_3 от 8,6 до 22,5%, MnO от 3,8 до 5,5%.

Бурые железо-известковые конкреции менее 3 мм обладают приблизительно таким же содержанием основных элементов и солей, однако в них по сравнению с крупными бурыми железо-известковыми конкрециями почти в два раза меньше марганца, а накопление извести строго соответствует степени заболоченности почв.

2.4.3.3. Известковые вскипающие конкреции

Известковые конкреции почв лесостепи имеют гидрогенное происхождение, связанное с влиянием жестких гидрокарбонатно-каль-

циевых вод. Водораздельные и пойменные виды таких новообразований характеризуются близким механизмом формирования. Среди гидрогенных новообразований наибольший интерес представляют крупные и мелкие твердые карбонатные конкреции, легко различимые в профиле почв при его визуальном изучении. Их образование тесно связано с режимом грунтовых вод. Такие новообразования возникают на контакте с зоной аэрации в основном в результате привноса в почвенную толщу грунтовыми водами щелочноземельных элементов. «Выпадения конкрециеобразователя приурочены к зоне эпизодического насыщения и наиболее резкого изменения условий химического равновесия» [Македонов, 1966,]. Эта зона фиксирует наиболее высокий уровень грунтовых вод. Здесь грунтовые воды обладают наиболее высокими температурами и низким парциальным давлением CO_2. Поэтому бикарбонаты переходят в нормальные карбонаты и выпадают в осадок.

В роде известковых вскипающих конкреций выделены следующие виды новообразований.

2.4.3.3.1. Известковые крупные угловатые раковистые конкреции

Белесые известковые крупные угловатые раковистые конкреции (рис. 2.20) почв пойменных террас рек лесостепи имеют светло-серую окраску и натечную раковистую текстуру. Это вытянутые конкреции длиной 4–6 см и шириной 1,0–1,5 см. Они встречаются в почвах центральной и притеррасной частей пойм. Исследования их микроморфологического строения с помощью электронного растрового микроскопа позволили установить гетерогенное строение крупных светло-серых карбонатных новообразований лугово-болотных почв. В целом стяжения имеют компактное сложение с тонкими щелями между минеральными зернами и редкими крупными каналами. Выделяются зоны с явной концентрацией ромбоэдров кальцита, которые приурочены к полостям перекристаллизации с отчетливо выраженными трещинами спаянности по граням. Выделяют три типа кристаллов кальцита:

1) ромбоэдры удлиненной формы;
2) ромбоэдры изометрической формы, близкой к форме многогранника;

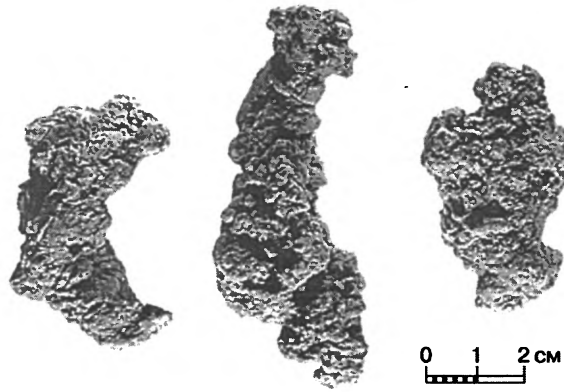


Рис. 2.20. **Белесые известковые крупные угловатые раковистые конкреции из профиля лугово-болотной карбонатной глинистой почвы на жестких грунтовых водах. Пойма р. Дон. Тульская область**

3) игольчатая форма (люблинит).

В отдельных кристаллах обнаруживается рост и развитие кальцита. Среди формирующихся новых кристаллов часто выделяется люблинит. Местами отчетливо проявляются соединения марганца ажурной (сетчатой) формы, тонкой пленкой обволакивающие кристаллы кальцита. Четко отмечается отдельная локализация соединений Mn от соединений Fe. В зонах сопряженного скопления соединения Fe и Mn образуют шарообразные формы компактного сложения. По происхождению они вторичны по отношению к кристаллам кальцита и не входят в состав карбонатов. При этом стяжения соединений Mn и Fe в карбонатных конкрециях имеют формы, характерные для физико-химических условий осаждения. Биогенные формы соединения железа и марганца в этих конкрециях не обнаружены.

В шлифах светло-серые крупные карбонатные новообразования также имеют компактное сложение с единичными округлыми пустотами, стенки которых устланы кристаллами мелкозернистого кальцита. Основная масса состоит из мелкозернистого кальцита с примесью глинистого материала. Встречаются тяжи (зоны перекристаллизации), полностью заполненные крупными кристаллами кальцита. Соединения Fe и Mn имеют островное распределение по поверхности тонких пустот и карбонатных зерен. Эти новообразования в глеевых почвах отличаются большим

количеством пустот преимущественно округлой формы. Стенки пор выстланы перекристаллизованным кальцитом. Отдельные зоны конкреций имеют локальные диффузные пятна соединений Fe и Mn.

Валовой химический анализ белесых известковых крупных угловатых светло-серых конкреций был исследован для всех почв катены Верхне-Донского стационара. Полученные данные свидетельствуют о том, что широкий диапазон почв разной степени заболоченности (от дерновой насыщенной неоглеенной до луговой глеевой) характеризуется близким химическим составом. Содержание $CaCO_3$ SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, MgO остается весьма стабильным независимо от степени оглеения почв. Исключением в этом отношении является марганец, концентрация которого в крупных светло-серых карбонатных конкрециях нарастает почти пропорционально возрастанию степени заболоченности почв, а также железа, содержание которого заметно возрастает в конкрециях из лугово-болотной почвы. Следует отметить и то обстоятельство, что общее соотношение Fe/Mn в известковых конкрециях закономерно уменьшается с нарастанием заболоченности рассматриваемых почв (с 17 до 5). Здесь наблюдается диаметрально противоположная закономерность изменения Fe/Mn по сравнению с марганцево-железистыми конкрециями (ортштейнами) кислых почв лесной зоны, в которых это соотношение всегда увеличивается при усилении заболоченности почв в пространстве [Зайдельман, 1985]. Это различие определяется, прежде всего, особенностями миграционной активности Mn в кислой и слабощелочной средах. Важное диагностическое значение этих новообразований заключается и в том, что их верхняя граница распространения, так же как и журавчиков в черноземно-луговых почвах, как показали гидрологические исследования почв поймы верхнего течения р. Дон [Зайдельман, Селищев, 1980, 1981], совпадает с отметками наиболее высокого подъема грунтовых вод в первой половине теплого периода. В частности, им соответствовала верхняя граница залегания конкреций в профиле почв исследованной катены – дерновая насыщенная неоглеенная, луговые насыщенные глубокооглеенные, слабооглеенная, глееватая и глеевая, лугово-болотная – на глубинах 110, 95, 83, 73, 40 и 30 см.

2.4.3.3.2. Белесые известковые крупные овальные конкреции (журавчики)

Белесые известковые крупные овальные конкреции (журавчики) получили распространение в лугово-черноземных и черноземно-луговых почвах лесостепи (рис. 2.21). Преимущественно они встречаются в почвах, увлажнение и заболачивание которых связано с поступлением жестких гидрокарбонатно-кальциевых вод. Эти конкреции имеют овальную или округлую форму, белесовато-серую окраску, ровную поверхность. Их длина равна 2–4 см, высота 2–3 см. Химические свойства таких новообразований существенно не изменяются в зависимости от степени избыточного увлажнения почв. При усилении переувлажнения повышается их верхняя граница распространения. Все они отличаются значительным содержанием извести (около 70%), относительно небольшим присутствием SiO_2 (28%), Al_2O_3 (5%), Fe_2O_3 (2,7%), MgO (2,3%). На сколе можно отчетливо различить два слоя — поверхностный и внутренний. Поверхностный слой заметно отличается по химическому составу от внутреннего. Так, содержание $CaCO_3$ во внешнем и внутреннем слоях равно соответственно 57 и 79%, SiO_2 36 и 20, Al_2O_3 7,5 и 2,0, Fe_2O_3 3,2 и 2,5%. Можно предполагать, что различия химического состава разных слоев карбонатных конкреций связаны с различными фазами их формирования. В этой связи необходимо обратить внимание на то,

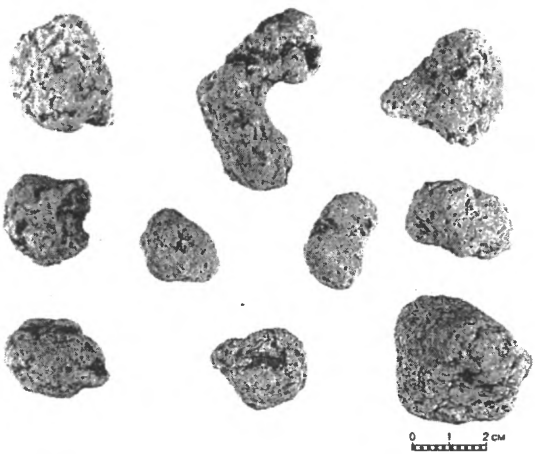


Рис. 2.21. **Белесые известковые крупные овальные конкреции (журавчики) в профиле: лугово-черноземной глееватой почве на карбонатных лессовидных суглинках. Юг Рязанской области**

что строение крупных спайно-кольчатых конкреций почв лесной зоны, имеющих существенно иной генезис, также характеризуется аналогичными различиями состава поверхностного и внутреннего слоев.

Журавчики следует рассматривать как индикаторы переувлажнения. Их верхняя граница распространения совпадает с высотой максимального подъема грунтовых вод. Эта особенность может быть использована для характеристики степени переувлажнения черноземно-луговых почв.

Установлена тесная связь этих новообразований с особенностями современного режима почв. Так, в исследованном ряду почв — темно-серые, черноземно-луговые и луговые с максимальным подъемом верховодки в летний период влажных лет соответственно до 120, 100 и 70 см верхняя граница распространения журавчиков находилась на 122, 114 и 82 см.

Практически тождественную морфологию и близкий состав имеют журавчики серых почв ополий южной тайги.

Приведенные данные по характеристике валового химического состава журавчиков северной лесостепи совпадают с результатами изучения этих новообразований в степной и сухостепной зонах, что позволяет высказать предположение о едином происхождении рассматриваемых конкреционных новообразований.

2.4.3.3.3. Известковые мелкие угловатые конкреции

В пойменных почвах севера лесостепи при неглубоком уровне залегания жестких грунтовых вод наряду с белесыми крупными известковыми формируются **мелкие белесые конкреции,** размер которых не превышает 0,5–1,0 см (рис. 2.22). Их химические свойства весьма близки к свойствам

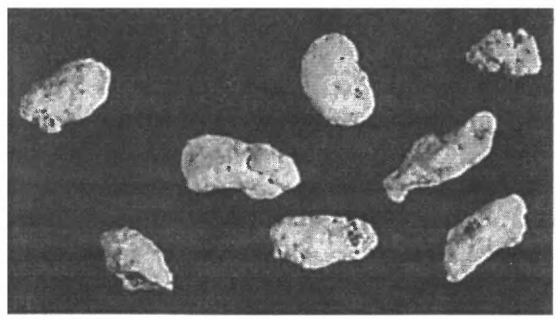


Рис. 2.22. **Белесые известковые мелкие угловатые конкреции из профиля черноземовидной луговой глееватой глинистой почвы поймы р. Дон. Тульская область**

крупных белесых известковых конкреций. Возможно, в процессе эволюции почв они постепенно увеличиваются в размере за счет ежегодного гидрогенного поступления бикарбоната кальция и его перехода в зоне аэрации в нерастворимый карбонат. В пользу этого предположения свидетельствует не только близкий химический состав мелких и крупных белесых известковых конкреционных новообразований, но и приуроченность таких мелких конкреций к тем же генетическим горизонтам (B_{kgCa}), в которых формируются крупные новообразования.

2.4.3.3.4. Белесовато-охристые известковые крупные овально-угловатые конкреции

В профилях всех рассматриваемых почв ниже горизонтов распространения светло-серых конкреций залегает горизонт крупных (3–4 см) **белесовато-охристых конкреций**. Обычно они приурочены к более оглеенному горизонту G_o, обладают овально-угловатой формой и могут быть дифференцированы по химическому составу на две группы. В почвах неоглеенных и начальных стадий оглеения они содержат меньше, чем светло-серые конкреции, извести (51–65%), значительно больше SiO_2 (34–35%), Al_2O_3 (5–8%). В интенсивно оглеенных почвах концентрация этих компонентов не отличается от их содержания в светло-серых конкрециях ($CaCO_3$ — 70–76%, SiO_2 — 22–29%). Однако в отличие от светло-серых карбонатных конкреций содержание железа и марганца в белесовато-охристых конкрециях всей группы оглеенных почв остается практически тождественным. Последнее объясняется, по-видимому, тем, что эти новообразования формируются в условиях преимущественно застойного водного режима.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что в профилях почв на карбонатных породах или в почвах, заболоченных жесткими грунтовыми водами, формируются различные виды конкреционных новообразований. Они различаются цветом, формой, химическим составом и являются источником важной информации об условиях почвообразования (генезисе и составе почвообразующих пород, степени оглеения почв, химическом составе поверхностных и грунтовых вод, динамике их уровней, ландшафтной приуроченности почв).

Установлена, в частности, тесная взаимосвязь между карбонатными конкреционными новообразованиями и современным

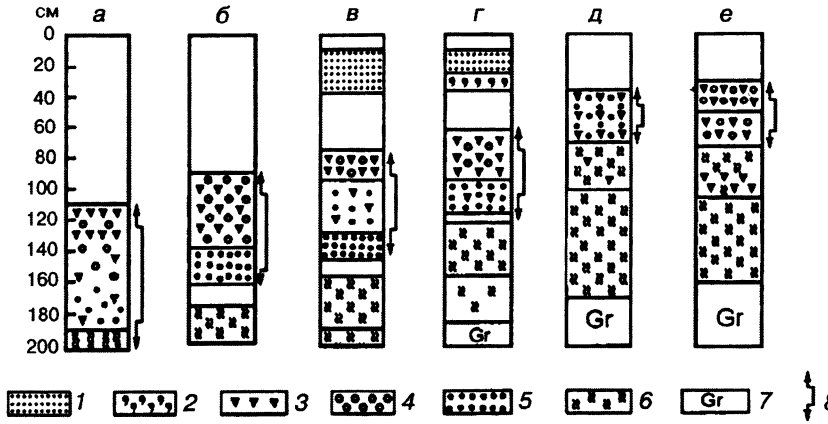


Рис. 2.23. **Изменение границ распространения различных новообразований в профиле пойменных почв, заболоченных жесткими грунтовыми водами, с усилением степени гидроморфизма. Пойма р. Дон. *Почва: а* — дерновая насыщенная тяжелосуглинистая неоглеенная; *б* — луговая насыщенная тяжелосуглинистая глубокооглеенная, *в* — то же, слабоглееватая; *г* — то же, глееватая, *д* — луговая карбонатная тяжелосуглинистая глеевая; *е* — лугово-болотная карбонатная; *1* — скопление темноокрашенных Fe, Mn-Fe ортштейнов; *2* — скопление поверхностно-вскипающих Fe, Mn-Fe ортштейнов; *3* — скопление белесых известковых крупных раковистых вскипающих конкреций; *4* — скопление бурых Ca, Fe-конкреций; *5* — скопление темно-бурых Ca, Fe-конкреций; *6* — G_o (скопление гидроокислов железа); *7* — глей редуцированный; *8* — зона колебания грунтовых вод**

водным режимом почв (рис. 2.23). Это проявляется в том, что верхняя граница распространения конкреций обычно маркирует наиболее высокое положение грунтовых вод или верховодки. Поэтому исследованные известковые конкреции могут рассматриваться как устойчивые критерии эколого-гидрологического состояния почв.

Диагностические особенности известковых конкреций рассмотрены в табл. 2.10.

Таблица 2.10

Диагностические особенности известковых конкреций

Новообразования	Морфология, химические и физические свойства	Диагностическое значение
Круглые или эллипсовидные вскипающие Fe–Ca ортштейны		
Коричневато-серые вскипающие железокальциевые ортштейны (рис. 2.18)	Овальные конкреции размером 5–10 мм, реже — больше; Fe, Ca	Коричневато-серые вскипающие железо-кальциевые ортштейны встречаются в почвах, заболоченных жесткими грунтовыми водами, обычно между зонами распространения Fe–Mn и Ca конкреций

Продолжение таблицы 2.10

Новообразования	Морфология, химические и физические свойства	Диагностическое значение
Угловатые вскипающие Са-конкреции		
Белесые угловатые крупные известковые конкреции (рис. 2.20)	Белесые, часто желтовато-белесые крупные известковые конкреции. Имеют размер до 30–60 мм, твердые, плотные, преобладают Са, Mg	Белесые угловатые крупные известковые конкреции встречаются в почвах, заболоченных жесткими грунтовыми водами. Верхняя граница их распространения приурочена к уровням стояния грунтовых вод в поздневесенний период. Вероятна напорность вод
Белесые известковые крупные овальные конкреции (журавчики) (рис. 2.21)	Белесые или сероватые крупные известковые конкреции округлые шарообразные, диаметр 2–4 см	Индикатор на заболачивание жесткими грунтовыми водами. Верхняя граница их распространения соответствует наиболее высокому уровню подъема грунтовых вод в поздневесенний период; вероятна напорность грунтовых вод
Карбонатно-глинистые кольчатые конкреции		
Коричневато-серые карбонатно-глинистые кольчатые конкреции (рис. 2.17)	Коричневато-серые кольчатые конкреции имеют правильную форму плоского овала с отверстием в центре. Хрупкие кольцеобразные конкреции всегда имеют отверстие посередине. Диаметр колец — 1–3 см, толщина 3–5 мм.	Кольчатые конкреции обычно встречаются в глеевых горизонтах почв на тонкослоистых ленточных глинах с невысоким содержанием извести
Светло-серо-коричневые карбонатно-глинистые спайнокольчатые конкреции (рис. 2.18)	Светло-серо-коричневые карбонатно-глинистые спайнокольчатые бурно вскипающие конкреции обычно образованы сцементированными крупными кольчатыми конкрециями. Имеют неправильную форму, размер — до 5–8 см и более. По отверстиям колец обычно корни растений	Спайнокольчатые конкреции приурочен к сильно оглеенным горизонтам почв на тонкослоистых ленточных глинах, обогащенных известью

2.4.4. Железистые цементационные, глинистые натечные, неконкреционные аморфные и кристаллические новообразования

2.4.4.1. Плоские горизонтальные железистые и гумус-Fe-Al цементационные новообразования

2.4.4.1.1. Псевдофибры

Впервые термин «псевдофибры» был предложен Г.Н. Высоцким (1911) для обозначения буроватых, цементационных железогидрок-

сидных жил, расположенных в супесчано-песчаных почвах. Позже под псевдофибрами стали понимать все сцементированные гидроксидом железа тонкие (0,5–5 см) прослои в профиле легких почв преимущественно горизонтального простирания, формирующиеся без участия грунтовых вод в результате иллювиального процесса [Зайдельман, 1981].

Новообразования такого типа под различными названиями были описаны в песчаных почвах многих биоклиматических зон — от северной тайги [Тонконогов, 1970] до тропиков [Гаель, Воронков, 1965; Морозова, 1978]. Почвы, имеющие хорошо выраженные псевдофибровые горизонты, были выделены в отдельный тип коварранных почв [Stefanovits, 1971]. Такого вида новообразования могут играть существенную роль в обеспечении влагой и питательными элементами сосновых лесов [Орлов, Кошельков, 1971].

Детально свойства псевдофибр, их генезис, диагностическое значение и роль во влагообеспеченности лесов были изучены нами на территории Окско-Мещерского полесья [Зайдельман, Банников, 1996, 1997; Зайдельман, Никифорова, 2001].

Наиболее отчетливо псевдофибры — тонкие ожелезненные цементационные новообразования — проявляются в профиле автоморфных неоглеенных или глубокооглеенных почв, преимущественно, в условиях полесских ландшафтов.

Нарастание степени гидроморфизма, вызванное приближением уровня грунтовых вод к поверхности, оказывает заметное влияние на их морфологию. При этом наблюдается изменение цвета псевдофибр от красно-бурого в неоглеенной до буровато-серого — в глубокооглеенной и серо-сизого в глееватой почвах. В том же направлении — с усилением гидроморфизма — происходит уменьшение количества псевдофибр в почвенном профиле (рис. 2.24).

Вместе с тем ряд свойств псевдофибр почв разной степени заболоченности остаются общими. Нередко над псевдофибрами имеются небольшие осветленные прослои. Маломощные псевдофибры всех исследованных почв имеют сквозные мелкие отверстия диаметром до 3 мм, которые сохраняются, по-видимому, в местах ранее существовавших корневых ходов.

В псевдофибрах из неоглеенных, глубокооглеенных и глееватых почв обнаружена явная вертикальная дифференциация по гранулометрическому составу и по окраске. В псевдофибрах разной

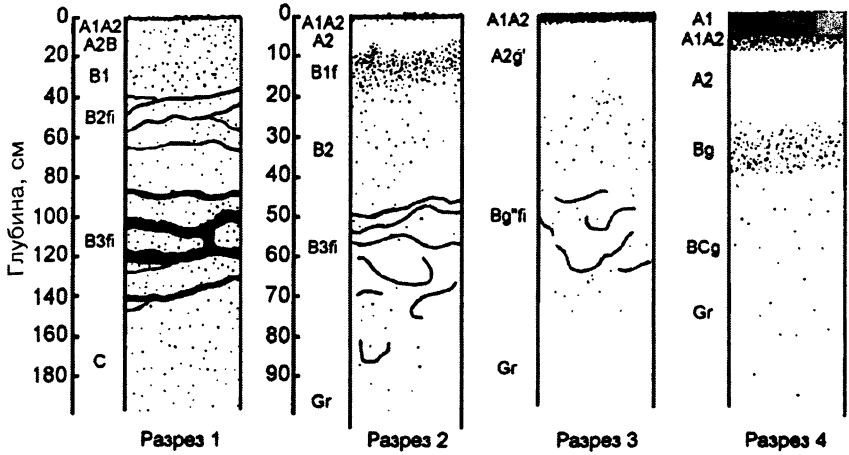


Рис. 2.24. **Схема морфологического строения профилей легких почв на флювиогляциальных песках. Окско-Мещерское полесье.** ***Почвы:*** **разрез 1 — бурые оподзоленные псевдофибровые, разрез 2 — подзолистые глубокооглеенные псевдофибровые, разрез 3 — подзолистые глееватые псевдофибровые, разрез 4 — дерново-подзолистые глеевые гумус-железисто-иллювиальные**

мощности это проявляется в различной степени. В маломощных псевдофибрах дифференциация проявляется лишь в том, что их верхняя поверхность более гладкая, без острых углов и крупных минеральных зерен по сравнению с нижней поверхностью. В мощных псевдофибрах (> 1 см) выделяется верхний более плотный белесый слой с достаточно гладкой поверхностью. Мощность этого слоя составляет верхние 2–4 мм псевдофибра. Второй слой мощных псевдофибр — красно-бурый с включением крупных минеральных зерен. Хорошо просматривается горизонтальная слоистость красно-бурого слоя с местными фрагментарными белесыми прослоями.

В мощных псевдофибрах не обнаружены сквозные отверстия, свойственные маломощным псевдофибрам. Можно предполагать, что подобные образования существовали ранее, однако по мере отмирания и разложения корней отверстия заполнялись тем материалом, который формирует и сам псевдофибр. Особенностью мощных псевдофибр является горизонтальное распространение в их толще и по их поверхности корней растений.

Нарастание степени гидроморфизма, вызванное приближением уровня грунтовых вод к поверхности, заметно влияет на цвет

псевдофибр. Они приобретают серую, ржаво-серую окраску. Их число в профиле почв и мощность резко сокращаются. В глеевых почвах псевдофибры отсутствуют.

По сравнению с вмещающими горизонтами в псевдофибрах обнаруживается заметное накопление фракции физической глины и особенно — илистой фракции.

В различных почвах это накопление на порядок и более превышает содержание ила вмещающих горизонтов. По содержанию илистой фракции псевдофибры почв разной степени заболоченности существенно не отличаются друг от друга. Максимальные значения этого показателя укладываются для неоглеенных, глубокооглеенных и глееватых почв в следующий ряд: 7,9–7,4–5,8%. Содержание песчаных фракций в псевдофибрах всех почв незначительно отличается от содержания песчаных фракций вмещающих горизонтах.

Плотность сложения максимальна в псевдофибрах неоглеенной почвы — около 2 г/см^3. С нарастанием степени гидроморфизма отмечается закономерное уменьшение плотности сложения псевдофибр и снижение разницы между плотностями сложения псевдофибр и вмещающих их горизонтов (2,00–1,72–1,69 г/см^3 соответственно в неоглеенных, глубокооглеенных и глееватых почвах).

Высокая плотность сложения новообразований обусловила низкие значения их общей пористости (25% в псевдофибрах бурой почвы). Общая пористость псевдофибр в ряду почв неоглеенная – глубокооглеенная – глееватая была равна соответственно 25,0–34,8–36,2%. Разница между общей пористостью псевдофибр и вмещающих горизонтов в том же ряду составила 17,8–6,3–6,6%.

Псевдофибрам свойственна существенно бóльшая водоудерживающая способность. Оценка роли псевдофибр в водном балансе показала, что в профиле неоглеенной почвы за счет каждого сантиметра мощности псевдофибр, обладающей повышенной влагоемкостью, может удерживаться в почвенном профиле дополнительно 0,8 мм влаги по сравнению с вмещающим горизонтом той же мощности.

Мощные псевдофибры (> 1 см) обладают низкими коэффициентами фильтрации — 0,06 м/сут., т.е. эти новообразования обладают свойствами водоупоров. Можно предполагать, что

повсеместно встречающееся осветление верхнего контактного слоя вмещающего горизонта и поверхности псевдофибра связано с периодическим застоем здесь гравитационной влаги и локальным глееобразованием в условиях застойно-промывного режима.

Псевдофибры заметно отличаются от вмещающих горизонтов высоким содержанием илистой фракции, высокими значениями плотности сложения и низкой пористостью. Псевдофибры являются более кислыми образованиями. Они обогащены подвижным алюминием, несиликатными формами железа, органическим углеродом. Псевдофибры оказывают значительное положительное влияние на влагообеспеченность растений с глубокой корневой системой на этих почвах. Роль псевдофибр в этом случае особенно существенна еще и потому, что они наиболее интенсивно формируются на наименее обеспеченных влагой водораздельных почвах. На этих позициях ландшафта вклад пседофибр в гидрологический режим почв оказывается особенно значимым.

Присутствие в почвенном профиле псевдофибр свидетельствует об отсутствии или непродолжительном влиянии грунтовых вод на почвообразование. Длительное или постоянное обводнение препятствует их формированию. Подтверждением этой закономерности является уменьшение количества псевдофибр и выравнивание их свойств со свойствами вмещающих горизонтов по мере приближения грунтовых вод к дневной поверхности.

2.4.4.1.2. Темные иллювиальные гумус-Fe–Al цементационные горизонты

Темные иллювиальные гумус-Fe-Al цементационные образования формируются в профилях легких почв при неглубоком залегании грунтовых вод (0–1,2 м) от дневной поверхности (рис. 2.25). Как правило, это уплотненные иллювиальные горизонты в профиле дерново-подзолистых почв и подзолов. Все эти почвы интенсивно оглеены (глеевые почвы). Появление таких горизонтов свидетельствует об интенсивной заболоченности почв, которые отличаются неглубоким залеганием грунтовых вод.

2.4.4.1.3. Ортзанд

Ортзанд — железистое гидрогенное цементационное новообразование, возникающее в зонах аэрации легких (песчано-супесчаных)



Рис. 2.25. **Темный иллювиальный гумус-Fe—Al цементационный горизонт в профиле подзола на флювиогляциальных песках в районе г. Росток. Германия**

почв разного генезиса при близком залегании слабоожелезненных (до 10–12 мг/л) грунтовых вод (рис. 2.26). Н.М. Сибирцев (цит. по 1951) считал, что песок ортзандов «есть обыкновенный почвенный или подпочвенный песок, сцементированный примесями». Ю.А. Ливеровский (1933, 1948), И.С. Кауричев и В.С. Шишова (1966) и др., так же как и Н.М. Сибирцев, связывали появление ортзандов с подзолообразовательным процессом. По М.М. Филатову (1922) непременным условием образования ортзанда является неоднородность гранулометрического состава почвообразующей породы. Е.В. Аринушкина (1939) пришла к выводу, что «ортзанды являются своеобразными иллювиальными горизонтами песчаных и супесчаных почв» (с. 204). В отличие от Е.В. Аринушкиной, Г.Ф. Морозов (1901, 1930), Г.Н. Высоцкий (1911), С.С. Неуструев (1911, 1930), А.А. Завалишин (1951) и другие указывали на гидрогенное происхождение этих новообразований. Ф.Р. Зайдельманом (1969, 1974) приведены доказательства в пользу гидрогенной теории образования ортзандов и показано их актуальное диагностическое значение.

Ортзандовый горизонт всегда формируется непосредственно над глеевым (рис. 2.27). При этом, чем интенсивнее заболоченность почв на *открытых* территориях, тем ближе к дневной поверхности и часто тем мощнее ортзандовый горизонт. На открытых участках почвенно-гидро-

логического стационара в пределах Московской Мещеры в незаболоченных, глубокоглеенных, глееватых и глеевых почвах его верхняя граница находится соответственно на глубинах 100–110, 85–95, 55–60 и 40–50 см.

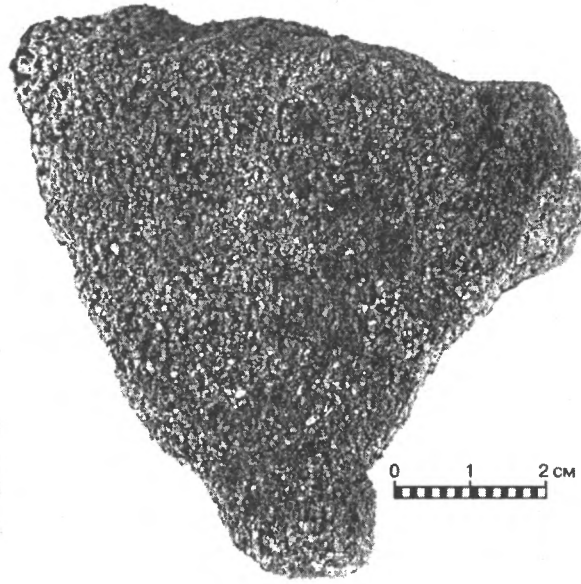


Рис. 2.26. **Фрагмент ортзандового горизонта**

Ортзандовые горизонты всегда отличаются более тяжелым гранулометрическим составом по сравнению с контактными слоями и повышенным содержанием илистой фракции.

При оценке легких почв большое значение имеют сведения об общих закономерностях водопроницаемости ортзанда. В целом по профилю легких почв ниже поверхностного гумусового горизонта минимальная фильтрация свойственна сцементированным гидроокисью железа слоям (1,6–1,7 м/сутки). Глубже в непосредственно примыкающем к ортзанду горизонте оглеенного песка водопроницаемость больше почти в четыре раза и в исследованном случае достигала 5,8 м/сутки.

Данные получены при глубоком залегании грунтовых вод методом инфильтрации.

Ортзандовые горизонты отличаются рядом характерных особенностей химического состава. В них по сравнению с вмещающей толщей мелкоземистых почвенных горизонтов выше содержание железа, алюминия, фосфора и марганца и ниже — кремнезема. Эти свойства отчетливо проявляются как в валовом химическом составе ортзанда, так и в его илистой фракции.

Гидрогенное происхождение ортзанда подтверждает баланс общего железа, элювиированного из горизонта А2 и

аккумулированного в ортзандовых бурых и дерново-подзолистых оглеенных почвах (табл. 2.11).

Таблица 2.11

Общий баланс Fe_2O_3 в бурых и дерново-подзолистых оглеенных ортзандовых супесчаных почвах (в толще горизонтов A1–A2–B–Ort)*. Московская Мещера, лес

Почва, разрез	Вынос из	Аккумуляция	и вынос в	Общий баланс
	горизонтов A1–A1A2–A2	гор. B	Ort	по профилю A1–A2–B–Ort
Бурая оподзоленная, разрез 41	–0,3	+3,8	+1,3	+4,8
Дерново-слабоподзолистая, разрез 42	–0,6	+10,4	+7,0	+16,8
Дерново-подзолистая глееватая, разрез 43	–1,1	+2,5	+7,0	+8,4
Дерново-сильноподзолистая глеевая, разрез 44	–1,1	–0,9	+5,1	+3,1

* + накопление; — вынос.

Объем выноса железа из оподзоленных горизонтов количественно не сопоставим с аккумуляцией этого элемента в ортзанде даже при условии, что все элювиированное железо будет сосредоточено в этом слое [Зайдельман, Нарокова, 1974; Зайдельман, 1998].

В этой связи необходимо обратить внимание еще на одно обстоятельство. Очевидно, накопление железа в горизонтах B и Ort бурой, дерново-слабоподзолистой глубокооглеенной и дерново-подзолистой глееватой почв, резко превышающее его вынос из элювиальной (A1–A1A2–A2) толщи, свидетельствует о том, что в этом случае имеет место его гидрогенная аккумуляция (табл. 2.11).

Результаты расчетов показывают, таким образом, несопоставимые различия между элювиальным выносом железа и его гидрогенным накоплением в профиле почв. Это накопление превышает вынос в 3–17 раз. Таким образом, ортзандовые горизонты в профиле легких почв возникают в результате непрерывной гидрогенной аккумуляции огромных масс железа, транспортируемых к зоне аэрации грунтовыми водами.

Балансовые подсчеты показывают, во-первых, что образование ортзандовых горизонтов происходит не только в подзолистых, но и в бурых почвах, в профиле которых вообще отсутствуют самостоятельные подзолистые горизонты; во-вторых, что независимо от гене-

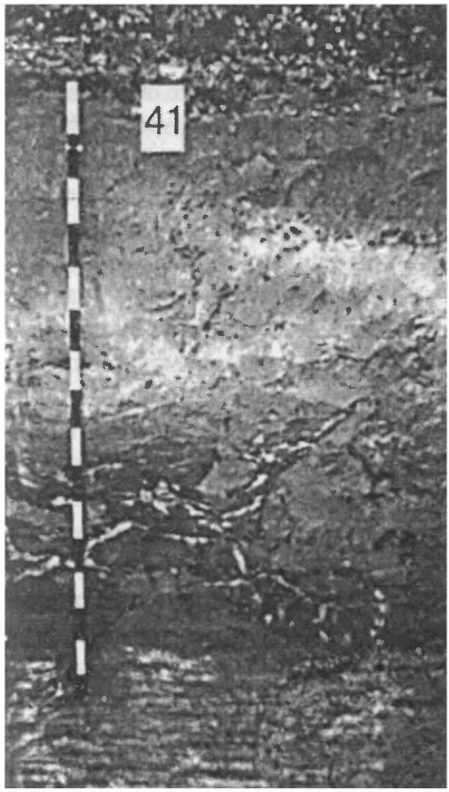


Рис. 2.27. **Ортзандовый горизонт в профиле бурой оподзоленной почвы. Московская Мещера**

зиса аккумуляция железа в профиле ортзандовых почв имеет гидрогенный характер; в-третьих, что гидрогенная аккумуляция железа происходит не только в ортзандовых, плотно сцементированных горизонтах, но и над ними; в-четвертых, что абсолютная концентрация железа в ортзандовом горизонте зависит от степени заболоченности почв и концентрации железа в грунтовых водах.

В стадии интенсивного заболачивания (глееватые и, особенно, глеевые почвы) резко сокращаются продолжительность периода аэрации почвенного профиля и возможность перехода закисного железа из грунтовых вод в окисные соединения в зоне ортзанда. В этом случае оказываются менее благоприятными и условия кристаллизации аморфной гидроокиси железа по сравнению со слабозаболоченными почвами. В ортзандовых горизонтах часто наблюдается относительно высокая аккумуляция железа на начальных этапах заболачивания почв и заметное снижение содержания железа в ортзанде в интенсивно заболоченных почвах. При этом, однако, несмотря на уменьшение концентрации железа в ортзанде при усилении заболачивания, его мощность обычно возрастает, а верхняя граница поднимается к поверхности. Поскольку в условиях прогрессирующего гидроморфизма на определенном этапе (в данном случае в ряду незаболоченные — глеевые почвы) наблюдается увеличение мощности подзолистых и ортзандовых горизонтов, создается впечатление, что с интенсивностью оподзоливания увеличивается концентрация железа

в мощном ортзанде. Однако оно не соответствует данным количественной оценки.

Наличие ортзандовых горизонтов в профиле легких почв служит указанием на возможную неблагоприятную концентрацию железа в грунтовых водах, способную вызвать закупорку дренажа.

Ортзанды — обязательные элементы профиля легких почв в зонах близкого залегания ожелезненных грунтовых вод — интересны и как субстрат, в котором развиваются корневые системы растений.

Установлено, что абсолютное содержание железа в ортзандовых горизонтах не превышает обычно 3–7%. Вегетационные исследования, проведенные с различными растениями, показали, что на песчаных и супесчаных почвах увеличение содержания железа в корнеобитаемых горизонтах до таких значений не приводит к угнетению культур, а, напротив, благоприятно отражается на их развитии и урожае. Вместе с тем плотное сложение ортзанда является преградой для нормального развития корней. Поэтому при близком залегании этого горизонта к дневной поверхности (на глубинах 40–60 см) целесообразно предусматривать механическое разрушение ортзандов [Зайдельман, 1975].

Ортзандовые горизонты встречаются в профиле разных в генетическом отношении почв на различных глубинах, но всегда непосредственно на глеевом редуцированном горизонте. Их положения, как показали гидрологические наблюдения [Зайдельман, 1985], определяются колебаниями уровня грунтовых вод и обычно отвечают максимально высокому стоянию весной в конце 2–3 декады после завершения снеготаяния

2.4.4.2. Глинистые натечные новообразования

2.4.4.2.1. Кутаны

Кутаны — натечные глинистые новообразования, свойственные почвам, в профиле которых выражен иллювиальный процесс, издавна привлекали внимание многих исследователей. Впервые эти новообразования были изучены В.В. Геммерлингом в 1922 г., а затем в 1938 г. С.С. Морозовым. В трудах этих авторов они получили название «корочек», в работах других — «полынита» [Ярилова, Парфенова, 1959], «глинистых натеков» [Минашина, 1958; Veneman at al., 1976]; «текущей плазмы» (Fliessplasma) [Kubiena, 1953] и др.

R. Brewer (1964) предложил для них название — «кутаны». Он классифицировал их по вещественному составу — «скелетаны», «аржилланы», «манганы», «ферраны» и др.

Изучение натечных новообразований (кутан) интересно потому, что они приурочены к участкам иллювиальных горизонтов почвенного профиля, в которых происходит наиболее напряженное почвообразование в современных условиях. Это обстоятельство имеет следующие гидрологические объяснения. Глинистые кутаны выстилают поверхности почвенных отдельностей (педов) и образуют стенки трещин. По этим трещинам в теплый период осуществляется регулярная миграция гравитационной влаги, в них, прежде всего, наблюдается застой воды. Это явление может иметь место и тогда, когда верхние горизонты профиля обладают определенной аккумулирующей способностью, а их влажность ниже предельной полевой влагоемкости (< ППВ). Вода попадает в трещины в том случае, если на поверхности почвы формируется сток. Трещины почв оказываются таким образом водопроводящими каналами, по которым систематически, в том числе и в засушливый летний период после ливневых осадков, мигрирует гравитационная вода [Зайдельман, 1974; 1985]. В трещины активно проникают корни растений, обогащая мелкозем кутан органическим веществом. В результате локального переувлажнения, наличия органического вещества и анаэробной гетеротрофной микрофлоры возникают условия для развития современного глееобразования на поверхности структур. Именно в этих зонах в суглинистых и глинистых подзолистых почвах прежде всего появляются морфохроматические признаки оглеения.

Морфология кутан детерминирована тремя факторами — приуроченностью почв к почвообразующим породам определенного генезиса и состава, интенсивностью их оглеения и характером водного режима.

Кутаны наиболее отчетливо проявляются в почвах с элювиально-иллювиальной дифференциацией профиля на кислых породах с выраженным оглеением (рис. 2.28). Почвам, не несущим морфохроматических признаков оглеения, свойственна теплая окраска кутан — светло-бурая, розоватая, коричневато-красная. С появлением цветовых признаков оглеения она приобретает холодный оттенок. Так, в глубокооглеенных (слабооглеенных) почвах кутаны сероватые или сизовато-бурые; в глееватых почвах —

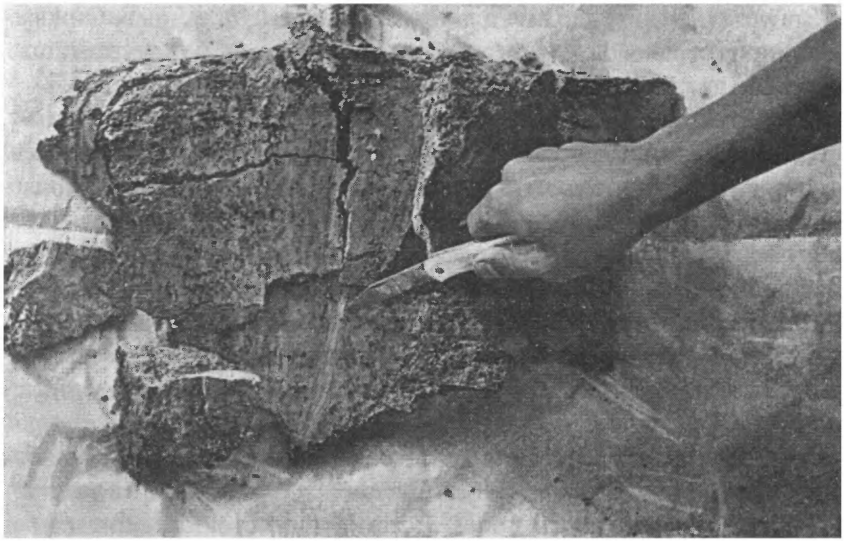


Рис. 2.28. **Глинистые кутаны на поверхности структурных отдельностей иллювиального горизонта по ходу трещин. Дерново-подзолистая глубокооглеенная суглинистая почва. Запад Московской области**

сизовато-серые; в глеевых и торфянисто-глеевых почвах кутаны всегда имеют интенсивный сизый или сизо-голубой цвет. В.В. Геммерлинг (1922) отметил, что степень развития корочек зависит от оподзоленности почвы — «чем сильнее оподзолена почва, тем лучше обычно выражена и корочка» (с. 24). Наши наблюдения [Зайдельман, 1974; Зайдельман, Никифорова, Санжаров, 1979; Зайдельман, Санжаров, Полонская, 1982] показывают, что кутаны наименее развиты в почвах, не несущих морфохроматических признаков оглеения. При их проявлении мощность натеков и их разветвленность увеличиваются до тех пор, пока почва не оказывается в условиях застойного режима.

Само формирование глинистых корочек В.В. Геммерлинг (1922) связывал с «вмыванием в иллювиальные горизонты продуктов почвенного процесса двух верхних подгоризонтов» (с. 24). С.С. Морозов (1938) считал, однако, что помимо вмываемых продуктов почвообразования из верхних горизонтов материалом для корочек является и глинистое вещество самих структурных отдельностей иллювиальных горизонтов почв.

При исследовании кутан почв на карбонатном глинистом элюво-делювии пермских красноцветных отложений были установлены иные особенности их морфологии. В иллювиальных горизонтах дерново-карбонатных выщелоченных и сильновыщелоченных неоглеенных почв кутаны представляют собой сплошные темно-бурые глянцевые глинистые пленки, целиком покрывающие поверхность педов. Максимальной толщины (0,5 мм) кутаны достигают в горизонте В2 над границей вскипания от HCl. В карбонатных горизонтах по стенкам крупных трещин сравнительно редко встречаются тонкие прерывистые красноватые глинистые натеки. Кутаны практически не формируются в карбонатных горизонтах почв катены.

Содержание общего углерода в кутанах в 2–3 и более раз превышает содержание углерода вмещающих горизонтов [Зайдельман, 1974; Зайдельман, Данилова, 1992]. Нарастание оглеения подзолистых почв не приводит к существенному изменению состава гумуса кутан горизонта В1. Здесь фульвокислоты значительно преобладают над гуминовыми ($С_{гк}/С_{фк} = 0,3$). В кутанах из горизонта В2 неоглеенной и глубокооглеенной почв состав гумуса почти не отличается от гумуса кутан горизонта В1. Таким образом, первый иллювиальный горизонт как оглеенных, так и неоглеенных дерново-подзолистых почв, а также второй иллювиальный горизонт неоглеенных и глубокооглеенных дерново-подзолистых почв в зонах наиболее активного современного почвообразования — трещинах — формируется под влиянием наиболее агрессивной и подвижной части гумуса. В гумусе кутан горизонта В2 глеевой почвы (горизонты с застойным режимом) гуминовые кислоты (% от содержания С) преобладают над фульвокислотами, гумус приобретает фульватно-гуматный характер ($С_{гк}/С_{фк} = 1,1$).

Несмотря на то, что органическое вещество кутан в глеевой почве приобретает фульватно-гуматный состав, роль фульватной фракции оказывается весьма значительной. Это подтверждают следующие данные. Во-первых, в мелкоземе кутан (в процентах массы) содержание всех фракций фульвокислот в два и более раз выше, чем в мелкоземе вмещающих горизонтов почв. Во-вторых, абсолютное содержание фульвокислот в кутанах оглеенных почв несколько выше, чем в аналогичных новообразованиях почв, не несущих морфохроматических признаков оглеения. Действительно, в кутанах горизонтов В1 и В2 дерново-подзолистых и дерново-подзолистых

глубокооглеенных, глееватых и глеевых почв общее содержание фульвокислот составило 0,19–0,21–0,21 и 0,15–0,21–0,17–0,21%. Близкая ситуация свойственна и горизонту А2 — 0,17–0,09–0,13–0,38%. Это позволяет еще раз подчеркнуть, что глееобразование — биогеохимический процесс, которому свойственно кислотное воздействие на минеральный субстрат. Особенно интенсивное воздействие горизонты почвенного профиля испытывают в зонах трещин, выстланных кутанами. С этим связано появление оподзоленных затеков, кремнеземистой присыпки (скелетан), увеличение мощности подзолистого горизонта в почвах, формирующихся в условиях застойно-промывного водного режима.

Почвенный покров каждой исследованной нами катены был образован рядом почв, включающим все виды, отличные по степени оглеения. Внутри каждой катены гранулометрический состав почв был близок по содержанию «физической глины» (частицы менее 0,01 мм) и ила (менее 0,001 мм). Исследовались глинистые натечные новообразования — кутаны — в подзолистых, болотно-подзолистых, серых, серых глеевых, дерново-карбонатных и дерново-глеевых типах почв. Каждая из катен была расположена в границах почвенно-гидрологического стационара, где в многолетнем цикле изучали свойства и гидрологический режим всех перечисленных почв.

Почвы на моренных отложениях территории Веригинского почвенно-гидрологического стационара образованы на маломощных двучленных породах. Здесь кислые легкие (песчано-супесчаные) флювиогляциальные отложения мощностью 40–60 см подстилаются карбонатными моренными слабокаменистыми средними суглинками. Почвы на покровных отложениях были исследованы на территории Коломенского стационара. Объектом изучения были серые и серые глеевые почвы, сформированные на лессовидных бескарбонатных тяжелосуглинистых отложениях.

В.В. Геммерлинг (1922) отмечал, что в корочках значительно меньше кремнезема и больше полуторных окислов, чем в структурных отдельностях почвы.

Полученные данные [Зайдельман, Никифорова, 1999] позволяют сопоставить изменения валового состава мелкозема в системе «вмещающие горизонты почвы — кутаны», оценить происходящие в этой системе трансформации при усилении степени оглеения.

Следует подчеркнуть, что валовой состав кутан всех подзолистых и болотно-подзолистых почв отличается от вмещающих горизонтов существенно меньшим содержанием кремнезема и резким увеличением железа и алюминия. При этом, однако, если в кутанах почв разной степени оглеения абсолютное содержание кремнезема и алюминия относительно стабильно, то общее содержание железа в иле этих новообразований с усилением признаков гидроморфизма в рассматриваемом ряду закономерно уменьшается. Таким образом, в ряду рассматриваемых почв идет интенсивное обезжелезнение как всех вмещающих горизонтов, так и кутан. Этот процесс несколько ослабевает лишь в глеевых почвах с застойным режимом.

Сопоставление химического состава илистой фракции кутан по степени их оглеения отчетливо выявляет наиболее специфический признак глеевого процесса — несбалансированный вынос несиликатного железа из мелкозема или из его плазмы. В верхних иллювиальных горизонтах почв, не имеющих явных признаков гидроморфизма, железо малоподвижно. Его содержание в илистой фракции кутан остается на уровне, близком к исходному содержанию в иле почвообразующей породы. Появление заметных морфохроматических признаков оглеения почв сопровождается уменьшением содержания Fe_2O_3 в иле кутан адекватно увеличению степени гидроморфизма.

Таким образом, мелкозем кутан характеризуется значительно большим, чем вмещающий горизонт, содержанием железа и алюминия. При этом в илистой фракции кутан содержание алюминия с нарастанием степени оглеения остается стабильным и высоким, а железо (главным образом его несиликатная фракция) подвержено прогрессивному выносу. Это явление закономерно прослеживается в катенах, почвенный покров которых образован подзолистыми, болотно-подзолистыми, серыми и серыми глеевыми почвами. Обращает внимание и то, что если общее содержание железа в иле горизонтов В1 и В2 находится на уровне содержания этого элемента в иле породы, то в почвах на кислых породах не формируются подзолистые горизонты. Так, содержание Fe_2O_3 в иле кутан горизонтов В1 и В2 серых неоглеенных и недифференцированных почв равно соответственно 12,2 и 13,0; в иле породы — 12,1. Однако появление слабых признаков оподзоливания сопровождается замет-

ным снижением валового Fe_2O_3 в горизонтах B1 и B2 — 11,7 и 10,9 и появлением оглеения как в кутанах, так и в оподзоленном горизонте в целом.

Относительный вынос несиликатного железа отражает степень проявления оглеения [Зайдельман, 1974], поэтому именно кутаны в почвах с элювиально-иллювиальном строением профиля оказываются зонами его наиболее интенсивного развития. При этом химические признаки оглеения могут проявляться в кутанах горизонтов, не несущих цветовых признаков оглеения.

Диагностические особенности плоских горизонтальных зон цементации и кутан приведены в табл. 2.12.

Таблица 2.12

Диагностические особенности плоских горизонтальных зон цементации и пленочных натечных глинистых новообразований

Новообразования	Морфология, химические и физические свойства	Диагностическое значение
Неконкреционные новообразования		
Плоские горизонтальные зоны Fe, Al–Fe и H–Fe–Al-цементации		
Псевдофибры (рис. 2.24)	Бурые, реже — ржаво-охристые горизонтальны или косонаправленные извилистые тонкие (1–3 см) ленты плотного песка, сцементированного гидроокисью железа, Mn < Fe	Псвевдофибры встречаются в верхней части профиля легких слабооподзоленных или бурых неоглеенных и глубокооглеенных почв, обычно в незаболоченных почвах
Темные иллювиальные стяжения (рис. 2.25)	Неплотные темноокрашенные овальные зоны цементации песка гумусом, алюминием, марганцем, железом в горизонте Bh. Цвет темно-серый до черного. Al, Mn > (реже <) Fe	Темные иллювиальные стяжения формируются только в легких подзолистых почах или в подзолах. Залегают всегда под горизонтом A2 в верхних слоях Bh и строго повторяют контур элювиального горизонта. Часто возникают при заболачивании почв пресными грунтовыми водами
Ортзанд гидрогенный (рис. 2.26)	Бурые или охристо-ржавые сплошные горизонтально направленные, сцементированные гидроокисью железа песчаные и супесчаные горизонты мощностью от 10–20 до 30–70 см. Изолированные образцы крошатся руками	Ортзанд гидрогенный, формируется в песчаных и супесчаных почвах разного генезиса, заболоченных слабо-, среднеожелезненными грунтовыми водами ($Fe2+$ ~ 1,2–12 мг/л). Всегда залегает непосредственно на глеевом горизонте
Пленочные натечные глинистые новообразования		

Продолжение таблицы 2.12

Новообразования	Морфология, химические и физические свойства	Диагностическое значение
Кутаны (рис. 2.28)	Глинистые пленки на поверхности структурных отдельностей (педов) иллювиальных горизонтов. Окраска от ярко-бурой в неоглеенных почвах до светло-серой или сизо-серой в интенсивно-оглеенных. Изменение окраски связано с выносом несиликатного железа при заболачивании	Кутаны встречаются в профиле суглинистых и глинистых почв преимущественно поверхностного заболачивания (кутаны серого и сизого цветов)

2.4.4.3. Свободные аморфные новообразования

2.4.4.3.1. Ржаво-охристые пятна аморфной гидроокиси железа

Ржаво-охристые пятна аморфной гидроокиси железа присутствуют во всех минеральных почвах, испытывающих периодическое переувлажнение. Их появление свидетельствует о том, что в анаэробный период часть несиликатного железа переходит в подвижную и растворимую закись, а затем — в аэробной фазе — выпадает в виде нерастворимой гидроокиси трехвалентного железа.

2.4.4.3.2. Темноокрашенные пятна гидроокиси марганца

Появление **темноокрашенных пятен гидроокиси марганца** — один из первых признаков развития переувлажнения. Обычно такие небольшие темные пятна появляются в начальных стадиях переувлажнения поверхностными атмосферными и склоновыми водами суглинисто-глинистых почв. Пятна приурочены к горизонтам В1 и в большей мере к В2. Эти признаки переувлажнения можно обнаружить в слабоглееватых, глубокооглеенных и глееватых почвах. Единично они могут формироваться в горизонте В2 автоморфных почв. В профиле глеевых сильно переувлажненных почв темноокрашенные пятна гидроокиси марганца не возникают.

2.4.4.3.3. Горизонты аккумуляции гидроокиси железа

Горизонты аккумуляции гидроокиси железа формируют поверхностные слои торфяных почв, заболоченных железистыми

водами с высоким (80–100 мг/л) содержанием закисного железа. После осушения аккумуляции гидроокиси железа образуют поверхностный горизонт мощностью 20–35 см — абсолютный индикатор на заболачивание сильноожелезненными грунтовыми водами.

2.4.4.4. Свободные кристаллические новообразования

В условиях гумидных ландшафтов обнаружено три вида свободных кристаллических новообразований — вивианит, гипс и пирит.

2.4.4.4.1. Вивианит — фосфорнокислая закись железа. Керчинит. Бераунит

Вивианит — фосфорнокислая закись железа — $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ — минерал, широко распространенный в торфяных и заболоченных минеральных пойменных почвах. В поймах встречается там, где река размывает породы, обогащенные фосфатами, а в почвах значительно содержание органического вещества. Вивианит на стенке свежего почвенного разреза имеет ярко белоснежный, светлый, реже серый цвет. Затем вивианит подвергается быстрому окислению и переходит в **керченит**, фосфорнокислую окись железа — новый минерал, имеющий ярко синюю окраску. При длительном окислении образуется **бераунит** — минерал, обладающий ржаво-охристой окраской.

2.4.4.4.2. Гипс

Гипс — сульфат кальция ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). В гумидной зоне России спорадически встречается в сильнозаболоченных торфяных и минеральных почвах некоторых небольших рек бассейна р. Волги — Кудьмы, Клязьмы, Теши и др. Его появление в почвах преимущественно пойменной террасы связано с поступлением грунтовых и напорных вод татарского и келловейского ярусов, обогащенных водорастворимым гипсом. В профиле почв он находится в виде скоплений желтовато-белых кристаллов или характерного белесого налета на поверхности осушенных торфяных почв. Гипс не оказывает токсического влияния на все культуры при весьма высоких концентрациях в корнеобитаемой толще. Безвредными для всех сельскохозяйственных растений оказываются

его концентрации до 15–20% от массы пахотного горизонта [Зайдельман, 1991]. Обычно естественная концентрация гипса в почвах оказывается существенно ниже этих значений.

В условиях аридного климата гипс является важным диагностическим критерием гидроморфизма. Крупнокристаллический гипс обычно встречается в длительно обводненных почвах, мелкокристаллический и мучнистый — преимущественно в ксероморфных почвах. При вторичном засолении, связанном с подъемом засоленных грунтовых вод, происходит инверсия гипсового горизонта; он оказывается на уровне или несколько выше известкового горизонта. Крупнокристаллический гипс, образованный в условиях длительного обводнения, нередко содержит значительные количества водорастворимых токсичных солей (хлоридов, сульфатов калия, натрия и магния).

2.4.4.4.3. Пирит

Пирит — сульфид железа (FeS_2). Его кристаллы могут быть обнаружены в почвах на юрских глинах или на других сульфидсодержащих породах, находящихся в условиях постоянного переувлажнения и анаэробиоза. После осушения в аэробной среде происходит быстрое окисление пирита с образованием ярозита $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$ (кристаллы золотисто-желтого цвета) и затем бурых гидроокислов железа и серной кислоты.

2.4.5. Неконкреционные карбонатные новообразования

Неконкреционные карбонатные новообразования имеют ряд важных общих особенностей. Все они формируются в профиле сильно заболоченных, преимущественно органогенных почв. Как правило, неконкреционные карбонатные новообразования распространены в ареалах жестких грунтовых вод. Нередки случаи их тесной связи с напорными жесткими водами. Таким образом, эти новообразования можно рассматривать как индикатор своеобразных и нередко достаточно сложных гидрогеологических условий для выполнения гидротехнического строительства. Их классификация приведена в табл. 2.6, схема 5 (окончание).

Следует подчеркнуть, что высокая концентрация карбонатов кальция неглубоко от дневной поверхности может оказаться причиной образования после осушения неблагоприятной среды для

роста и развития сельскохозяйственных растений, прежде всего — зерновых и сложноцветных, а также при особо высоких концентрациях извести — бобовых и пасленовых. Высокая концентрация извести в пахотном слое может оказаться причиной возникновения неблагоприятных условий для земледелия. Так, постепенное накопление извести в профиле осушенных легких дерново-глеевых почв в бассейне р. Припять в последние десятилетия в результате непрерывного поступления к поверхности капиллярной влаги от зеркала жестких грунтовых вод резко понизило их плодородие, а местами сделало эти почвы непригодными для земледелия в результате их эволюции после осушения в песчаные дерново-карбонатные.

Тип неконкреционных карбонатных новообразований получил весьма широкое распространение. Он представлен рыхлыми кальциевыми (луговая известь, луговой мергель), плотными кальциевыми (туф) новообразованиями и разнообразными по составу сапропелями.

2.4.5.1. Рыхлые кальциевые новообразования (луговая известь, луговой мергель)

Рыхлые кальциевые новообразования — луговая известь и луговой мергель образуют в профиле торфяных почв относительно мощные сплошные белесые горизонты солевых аккумуляций (обычно 1–4 дм). Эти новообразования залегают на контакте между минеральным дном болота и нижней кровлей торфяной залежи (рис. 2.29). Их возникновение всегда обусловлено влиянием гидрогенного фактора. Поэтому луговая известь и луговой мергель — абсолютные индикаторы наличия жестких грунтовых или напорных вод и продолжительного (постоянного) заболачивания почв. Они формируются в ареалах, где грунтовые (напорные) воды карбона не перекрыты водоупорными горизонтами (например, юрскими глинами) или там, где существуют открытые «окна» в водоупоре, перекрывающем отложения карбона (мела).

2.4.5.2. Плотные кальциевые новообразования (луговой туф)

Плотные кальциевые новообразования представлены одним видом — луговым туфом (рис. 2.30). Это гидрогенное новообразование отличается от осадочного туфа дочетвертичных отложений низкой плотнос-

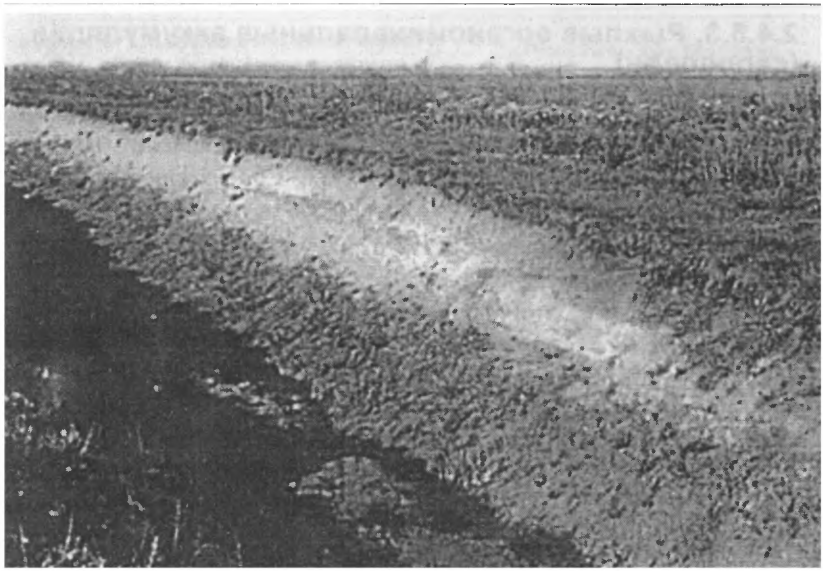


Рис. 2.29. **Белесый горизонт лугового мергеля в профиле осушенной торфяно-глеевой почвы на жестких грунтовых водах. Откос осушительного канала. Припятское полесье. Белоруссия**

тью сложения. Нередко луговой туф сохраняет пронизывающие его толщу крупные корни гидрофильных растений. Луговой туф — индикатор на заболачивание почв жесткими напорными водами. После осушения прослои лугового туфа могут выполнять функцию локального водоупора. Поэтому целесообразно механическое разрушение таких уплотненных новообразований после осушения почв болотных массивов.



Рис. 2.30. **Известковый луговой туф. Пойма р. Яхрома. Московская область**

2.4.5.3. Рыхлые органоминеральные аккумуляции (сапропель)

Сапропель — рыхлые органоминеральные аккумуляции, возникающие на дне заболачивающихся пресных водоемов. Сапропель — собирательное понятие. Оно включает весьма разнообразные по составу и свойствам образования — сапропель известковый, детритовый, диатомовый, песчаный и глинистый. Рассмотрение сапропеля в качестве почвенного новообразования в известном смысле условно. Однако после осушения сапропелевые слои оказываются горизонтами почвенного профиля, отражающими историю его формирования.

Сапропель несет важную диагностическую информацию о безусловном происхождении органогенных почв в результате зарастания водоемов. Его присутствие на контакте минерального дна болота и нижней кровли торфяной залежи всегда свидетельствует о своеобразии возникновения болотного массива и часто о неблагоприятных физических свойствах (низкой плотности, высокой влагоемкости и др.) для гидротехнического строительства и сельскохозяйственного использования таких почв.

Основные диагностические особенности неконкреционных карбонатных новообразований приведены в табл. 2.13.

Таблица 2.13

Диагностические особенности аморфных, кристаллических и неконкреционных карбонатных новообразований

Новообразования	Морфология, химические и физические свойства	Диагностическое значение
Аморфные и кристаллические неоформленные; неконкреционные карбонатные новообразования		
Аморфная гидроокись железа	Бурые и охристые скопления аморфной массы гидроокиси железа	Аморфная гидроокись железа в начале заболачивания появляется в нижних горизонтах. При интенсивном оглеении тонкие аккумуляции аморфной гидроокиси железа можно обнаружить на поверхности почв. Встречаются в почвах различного генезиса
Аморфные марганцевые пятна	Черные пятна размером от 2–3 мм до 1–2 см, главным образом на поверхности структурных отдельностей иллювиальных горизонтов	Аморфные марганцевые пятна возникают преимущественно в профиле подзолистых почв. Массовое скопление в глееватых и глубокооглеенных почвах. В глеевых почвах отсутствуют или единичны; встречаются в почвах разного генезиса

Новообразования	Морфология, химические и физические свойства	Диагностическое значение
Скопления вивианита, керченита, бераунита	Ярко-белые, обычно небольшие (до 10 мм) пятна вивианита (фосфорнокислая закись железа). При окислении быстро приобретают ярко-синюю окраску и превращаются в керченит (фосфорнокислая окись железа). При длительном окислении последний трансформируется в буро-окрашенный бераунит	Скопления вивианита (керченита) обычно возникают в нижних горизонтах сильноглеенных суглинистых и глинистых почв, заболоченных грунтовыми ожелезненными водами
Луговая известь и луговой мергель (рис. 2.29)	Белесые, серовато-желтые аккумуляции углекислого кальция, формирующие самостоятельные горизонты различной мощности	Горизонты луговой извести или лугового мергеля обычно возникают в профиле почв разного генезиса, заболоченных жесткими грунтовыми (часто напорными) водами
Туф (рис. 2.30)	Серые плотные стяжения углекислого кальция, часто пронизанные корнями водных растений. Пористые, легкие	То же, что и луговой мергель
Аккумуляции гипса	Вкрапления желтоватых кристаллов гипса в мелкоземистую толщу горизонтов, четко различимы при увеличении	Мелкокристаллические аккумуляции гипса обычно встречаются в горизонтах сильнозаболоченных почв в условиях выхода или близкого залегания грунтовых (напорных) вод, обогащенных сульфатами (например, грунтовые воды из отложений казанского, татарского ярусов и др.)

2.5. Методы диагностики типов болот и торфов по морфологическим признакам

2.5.1. Определение в полевых условиях степени разложения и ботанического состава торфов; сапропели

Важнейшим условием рационального выполнения проектных и строительных мелиоративных работ, мероприятий по окультуриванию является правильное определение на стадии отбора объектов и при мелиоративных изысканиях типа болота и торфа, ботанического состава органогенных горизонтов и степени их разложения. Ниже рассмотрены наиболее распространенные методы диагностики этих параметров при выполнении полевых почвенно-мелиоративных изысканий и исследо-

ваний на болотных массивах. Основное внимание здесь сосредоточено на макроскопической визуальной оценке ботанического состава и степени разложения торфяных горизонтов болотных почв.

2.5.1.1. Типы болот. Растительность как индикатор типа болот

В зависимости от водного режима и гидрохимических условий, характера растительности и ботанического состава торфа выделяют три типа болот: низинные, переходные и верховые.

В растительном покрове болот выделяют древесный, кустарниковый (высотой более 1 м), кустарничковый (0,2–1,0 м), травяной и моховой (или мохово-лишайниковый) ярусы.

Каждому типу болот соответствует определенный набор растений. Так, в южной тайге европейской территории России *на низинных болотах* в древесном ярусе встречаются: береза пушистая, ольха клейкая, ольха серая; ель обыкновенная, сосна обыкновенная. Среди кустарников чаще всего преобладают ивы. Очень большое разнообразие наблюдается в травяном ярусе низинных болот. Особенно характерны осоки — кочкарные: дернистая, своеобразная, омская. На поверхности болота эти осоки образуют крупные и высокие кочки; длиннокорневищные — осока бутыльчатая, стройная, двутычиночная. Помимо осок на низинных болотах часто растет тростник, иногда он образует чистые заросли; здесь растут вейники и другие злаки. На безлесных болотах произрастают обычно пушицы: узколистная, широколистная, тонкая и другие, остатки которых в торфе объединены под сборным названием пушицы многоголовой в отличие от пушицы одноголовой, характерной для верховых болот. В травяном ярусе низинных болот значительную роль играет хвощ топяной и болотный, вахта трехлистная, растут различные виды папоротников и других травянистых растений. В моховом ярусе на низинных болотах преобладают типовые мхи (виды родов дрепанокладус, калиергон), встречаются и сфагновые (субсекундум, террес, обтузум) мхи.

Верховые болота питают воды, очень бедные минеральными солями, что обусловливает набор видов растений, характерных для этих болот. В растительном покрове верховых болот также выделяют несколько ярусов. В древесном ярусе, как правило, растет сосна обыкновенная, но в угнетенном состоянии. Степень угнетения

зависит от условий местообитания растений и проявляется довольно четко.

Самой яркой особенностью растительности верховых болот является кустарничковый ярус, образованный преимущественно растениями из семейства вересковых: багульник болотный, болотный мирт (касандра), подбел многолистный, вереск обыкновенный. Кроме них, обильны водяника, в северных районах — голубика, клюква болотная и клюква мелкоплодная. Часто встречается карликовая березка. Все кустарнички имеют древеснеющие стебли и узкие, часто свернутые листья с опушением — багульник; с восковым налетом — подбел и другими приспособлениями к условиям среды. В травяном ярусе на верховых болотах широко распространена пушица одноголовая, образующая крупные кочки, нередко создающая почти сплошной покров. На сильно обводненных местах встречаются очеретник белый и осока топяная. Очень характерна для верховых болот шейхцерия болотная, особенно для сильно обводненных участков. Моховой ярус на верховых болотах очень хорошо развит и образован, как правило, сфагновыми мхами (ангустифолиум, балтикум, фускум, магеланикум, последний и на переходных). В условиях слишком сильного обводнения и ухудшения аэрации сфагновые мхи угнетаются и на их месте поселяются лишайники, иногда в значительных количествах. После отмирания они полностью разлагаются и не являются торфообразователями.

На переходных болотах распространены растения низинных и верховых болот. Они часто приурочены к разным элементам микрорельефа (первые — к кочкам, вторые — к мочажинам). На переходных болотах произрастают: в кустарничковом ярусе — карликовая береза, из травянистых — вахта трехлистная, осока шершавоплодная, пухонос дернистый [Куликова, 1974].

2.5.1.2. Классификация торфов С.Н. Тюремнова

В зависимости от состава растений-торфообразователей формируется три *типа* торфов — низинный, переходный и верховой (рис. 2.31). При определении типа торфа руководствуются растениями-торфообразователями:

- низинные типы торфа образуют растения-торфообразователи: древесные породы — береза, ольха, ель, ивы;

Рис. 2.31. **Классификация торфов по С.Н. Тюремнову**

- травянистые растения — осоки шершавоплодная, бутыльчатая, своеобразная, дернистая, омская; вейник, хвощ, вахта, пушицы многоголовые; зеленые и сфагновые мхи.

Для верхового типа торфа характерна следующая растительность: кустарнички — подбел, кассандра, багульник, водяника; травянистые растения — пушица влагалищная (одноголовая), шейхцерия, очеретник; зеленые и сфагновые мхи.

Некоторые растения-торфообразователи могут встречаться на болотах разных типов.

В зависимости от обводненности меняется облесённость торфяника. Каждый тип торфа дифференцируют на *подтипы* — лесной, лесотопяной и топяной. Последующее подразделение торфа на группы связано с оценкой участия древесной, травяной и моховой растительности в формировании органогенной толщи.

Группы торфов подразделяют на виды торфа по видовому составу растений-торфообразователей. *Видом* торфа называется первичная таксономическая единица, характеризующаяся определенным, достаточно постоянным сочетанием доминирующих остатков отдельных видов растений, отражающих (насколько возможно) исходные растительные группировки.

Название вида торфа зависит от процентного соотношения растительных остатков в соответствии с классификацией видов торфа (табл. 2.13). Оно дается по растению, остатки которого доминируют в торфе (не менее 40%), например шейхцериевый; если в торфе доминируют остатки двух растений, он будет иметь двойное название, например древесно-осоковый, шейхцериево-сфагновый.

Принятая в России классификация торфов С.Н. Тюремнова (1976), встречающихся на территории страны, приведена на рис. 2.31.

Последовательность смены пластов торфа дает возможность определить вид и тип торфяной залежи.

Торфяная залежь — закономерное вертикальное сочетание отдельных видов торфа от поверхности до минерального грунта или подстилающих озерных отложений.

Вид залежи определяется преобладающим видом торфа. Подтипы залежи выделяются по признаку наличия или преобладания в них торфов того или иного подтипа. Характер чередования и доля участия торфов того или иного типа определяют тип залежи. Выделяют четыре типа торфяных залежей: низинный, переходный, смешанный и верховой.

К низинному типу относятся залежи, полностью или более чем на половину общей глубины сложенные низинными торфами или перекрытые верховыми торфами, но не более чем на 0,5 м.

К переходному типу относятся залежи, сложенные нацело или более чем наполовину переходными торфами, слой верховых торфов составляет не более 0,5 м.

Смешанный тип объединяет залежи из низинных или переходных торфов, перекрытых верховыми. При этом мощность слоя верховых торфов составляет более 0,5 м, но не превышает половины общей глубины залежи.

И, наконец, к верховому типу относятся залежи, полностью сложенные верховыми торфами или такие, где пласт верховых торфов подстилается переходными или низинными торфами, но при этом мощность верховых торфов составляет не менее половины общей глубины залежи.

Типы торфов отличаются также по средней *конституционной зольности,* то есть зольности, свойственной растениям-торфообразователям. Зольность в зависимости от типа торфов колеблется в следующих пределах: низинные — 6–18%, переходные — 4–6%, верховые — 2–4%.

Следует, однако, иметь в виду, что все четыре типа торфов могут оказаться вторично зазоленными. В этом случае их зольность, в том числе и зольность торфов верхового типа, может резко возрастать, в результате поступления минеральной взвеси с пойменными, намывными склоновыми (делювиальными) водами, в результате озоления органогенной массы при пожарах и других причин.

2.5.1.3. Макроскопическое определение степени разложения торфа по методам П.Д. Варлыгина и Л. Поста

Образцы торфа, извлеченные на поверхность при буровом зондировании болота или полученные при проходке шурфов, подвергают тщательному макроскопическому изучению с целью определения важнейших характеристик торфа — степени разложения и их ботанического состава.

Степень разложения связана главным образом с интенсивностью биохимического распада растительных тканей в верхнем слое залежи и весьма несущественно зависит от возраста торфа, так как,

погружаясь в глубину залежи, торф в течение тысячелетий подвергается лишь незначительным изменениям.

По степени разложения можно судить о целом ряде физических и химических свойств торфа. Она определяет плотность, связность, вязкость и другие свойства. При определенных условиях степень разложения может оказаться более существенным показателем, чем ботанический состав торфа.

В табл. 2.14 приведен макроскопический метод определения степени разложения торфа, предложенный П.Д. Варлыгиным. Автор рекомендует выполнять макроскопический анализ торфа непосредственно в челноке бура, не нарушая структуры образца. Одновременно с оценкой степени разложения определяют тип торфа по окраске, структуре, легко различимым визуально растительным остаткам.

Таблица 2.14

Полевое определение степени разложения торфа по методу П.Д. Варпыгина Образец торфа сжимают в руке. При этом между пальцами выдавливается то или иное количество воды и торфа. В отжатом торфе определяют состояние остатков растительности

Степень разложения торфа, %	Название торфа в зависимости от степени разложения	Характер растительных остатков	Вода и ее цвет	Цвет торфа	Прочие признаки
Торф низинного типа					
Более 70	Очень сильно разложившийся	Растительные остатки, за исключением живых корней, неразличимы	Вода при сдавливании торфа в руке не отжимается	Черный, иногда с темно-коричневым оттенком	Влажная масса, при сжимании легко продавливается через пальцы, сильно пачкая руки
50–70	Сильно разложившийся	Заметны отдельные остатки растений с неясной структурой, встречаются мелкие кусочки коры и древесины	Вода почти не отжимается, окрашена в интенсивно темно-коричневый цвет	Черно-коричневый и темно-коричневый	Влажная масса образца на 1/3–2/3 продавливается через пальцы руки

Продолжение таблицы 2.14

Степень разложения торфа, %	Название торфа в зависимости от степени разложения	Характер растительных остатков	Вода и ее цвет	Цвет торфа	Прочие признаки
35–50	Среднеразложившийся	Заметны немногочисленные остатки растений	Вода отжимается плохо, темно-коричневого цвета	Серо-коричневый или темно-серо-коричневый	При степени разложения 30–35% торф начинает слабо пачкать руку; при 45–50% — начинает продавливаться между пальцами. В отжатом торфе упругость незаметна
20–35	Слаборазложившийся	Корешки осок ясно выражены, остатки мхов различимы при внимательном рассмотрении	Вода отжимается слабо, желтого или коричневато-желтого цвета. Мутная, темно-серая с заметными взвешенными частицами	Темно или светло-коричневый	После сжатия поверхность торфа шероховата от остатков растений
Менее 20	Торф неразложившийся	Спутанный войлок нитевидных корешков осок, иногда с примесью сфагновых и гипновых мхов. При степени разложения менее 10% растительные остатки хорошо оформлены по всей массе торфа	Вода легко вытекает в большом количестве, совершенно или почти не окрашена	Светло-серо-коричневый	Торф не продавливается через пальцы, после отжатия принимает почти первоначальный объем
Торф верхового типа					

Продолжение таблицы 2.14

Степень разложения торфа, %	Название торфа в зависимости от степени разложения	Характер растительных остатков	Вода и ее цвет	Цвет торфа	Прочие признаки
Более 50	Очень сильно разложившийся	Заметны волокна пушицы, кусочки древесины и коры сосны	Вода не отжимается	Темно-коричневый (иногда с пепельным оттенком)	Торф продавливается между пальцами, сильно пачкает руку, весьма пластичен
30–50	Сильно разложившийся	На изломе заметны тонкие волокна пушицы	Вода отжимается с усилием; темно-коричневая, кофейного цвета жидкость вытекает по каплям	Темно-коричневый	При степени разложения более 40% пачкает руку. Отжатый торф пластичен
20–30	Среднеразложившийся	Обрывки стеблей сфагновых мхов (до 1 см), волокна пушицы	Вода отжимается мутная, коричневая	Коричневый	Упругость в отжатом торфе слабо заметна
10–20	Слаборазложившийся	Стебельки сфагновых мхов голые, без веточек и листочков, длина стебелька около 1 см или немного больше	Вода желтая, отжимается очень легко	Светло-коричневый	Упругость в отжатом торфе заметна
До 10	Неразложившийся очес	Отчетливо видны стебельки сфагновых мхов с веточками; на веточках сохранились листочки	Вода светло-желтая, отжимается как из губки	Светло-коричневый, иногда почти желтый торф	Отжатый торф пружинит, упруго возвращается к первоначальному объему

Низинные торфа характеризует серый до землисто-черного цвет, наличие остатков нитевидных светлых корешков осок, блестящих черных пленок хвоща, бронзово-коричневых стеблей и листочков гипновых мхов, оливковых остатков корневищ тростника, чечевицеобразных семян вахты, белых остатков коры березы.

Верховой торф имеет цвет от желтого до темно-коричневого, в нем различимы стебли и листочки сфагновых мхов, волокна и корешки пушицы, блестящие пленки шейхцерии, корешки кустарников, остатки коры сосны.

В образце нарушенной структуры определяют пластичность торфа, его цвет, количество и окраску отжимаемой воды, структуру растительных остатков и их примерный объем.

Во многих зарубежных руководствах по изучению, мелиорации и культуре болот, а также в некоторых отечественных изданиях при визуальной оценке степени разложения торфа используют методику Л. Поста (табл. 2.15).

Таблица 2.15

Метод полевого определения степени разложения торфа по Посту сжатием образца (Эггельсманн, 1984)

Отжатая субстанция	Остаток после отжатия	Структура растительности в торфе	Степень разложения	Символ
Чистая			Едва заметная	H1
Желто-бурая вода	Не кашеобразный	Отчетливая	Очень слабая	H2
Мутная вода			Слабая	H3
Очень мутная вода с 1/3 торфяной субстанции	Кашеобразный	Слабоотчетливая	Средняя	H4
			Средне-сильная	H5
			Довольно сильная	H6
Очень сильно мутная вода с 2/3 торфяной субстанции	Только волокна, древесина	Неотчетливая	Сильная	H7
			Очень сильная	H8
Водянистая каша из общей торфяной субстанции	Почти нет остатка	Почти неузнаваемая	Почти полная	H9
			Полная	H10

2.5.1.4. Определение вида торфа по составу растений-торфообразователей

Основным объектом мелиорации и сельскохозяйственного использования являются торфа низинных болот. Поэтому ниже приведены признаки низинного торфа [Тюремнов, 1976], позволяющие на основе макроскопического изучения образца определить его вид.

Древесные торфа, как правило, встречаются отдельными прослойками в форме примеси в других торфах, реже в форме сплошных залежей. Древесные низинные торфа формируются в условиях переменного затопления, относительно хорошей дренированности территории, что обусловливает их высокую степень разложения и темную окраску. В торфах содержатся остатки ольхи, березы, ели, ивы, реже сосны. Эти торфа имеют наиболее высокую зольность.

Ольховый торф — красновато-коричневый, с остатками древесины и коры, много корешков осок, хвоща, рогоза.

Березовый торф имеет почти черный цвет с включениями белой коры березы.

Еловый торф — темно-коричневого цвета, преобладает на торфяниках северо-востока европейской территории России; древесные остатки хорошо различимы визуально.

Травяные торфа низинного типа представлены следующими видами: хвощовым, тростниковым, тростниково-осоковым, осоковым, вахтовым и шейхцериевым.

Хвощовый торф состоит из корневищ, стеблей, характеризующихся зубчатыми влагалищами, и ветвей с обильным включением черных блестящих пленок, облегающих корневища хвощей и просвечивающих красным цветом в проходящем свете. Легко отличается от других торфов. Цвет торфа темный, часто почти черный. В чистом виде встречается редко, обычно имеет примесь осок и тростника. Образуется преимущественно в условиях богатого питания речными или озерными водами.

Тростниковый торф состоит из остатков корневищ и стеблей тростника», отличается грубоволокнистым строением и ленточно-сложной структурой. Легко отличается от других торфов хорошо заметными блестящими лентами сплюснутых корневищ желтой или бурой окраски. Слаборазложившийся торф грубоволокнистый, свежевынутый часто пахнет сероводородом. В тростниково-осоковом торфе повышенное содержание примеси корешков осок.

Вахтовый торф легко отличить по частым включениям корневищ и блестящим красновато-желтым округло-плоским семенам. В волокне торфа корневище вахты, снабженное крупными воздухоносными полостями, приобретает вид широких и плоских лент со слабым зеленоватым оттенком.

Осоковый торф отличается буровато-серой окраской, которую придают ему резко выступающие на общем темном фоне серые корешки осок. Степень разложения торфа в среднем 30%. Примесь других видов травянистых и древесных растений невелика.

В шейхцериевом низинном торфе визуально легко обнаружить большое количество корешков и хорошо сохранившихся соломенно-желтых корневищ шейхцерии. Корневища шейхцерии несколько похожи на корневища тростника, но уже их. Постоянно встречающиеся семена шейхцерии напоминают мелкие муравьиные яйца. Торф коротковолокнистый, в чистом виде встречается редко и обычно содержит остатки сфагновых и гипновых мхов, пушицы, вересковых и др. Этот торф образуется в условиях подтопления слабоминерализованными водами, отличается пониженной степенью разложения и небольшой зольностью.

Моховые низинные торфа представлены двумя видами — гипновым и сфагновым.

В гипновом торфе хорошо сохраняются гипновые мхи, их листочки и стебельки легко различимы. Свежий образец гипового торфа имеет характерную коричневато-бронзовую окраску, быстро темнеющую на воздухе. Зольность и степень разложения пониженные — соответственно 6–8 и 20–30%. Однако могут успешно развиваться и при богатом грунтовом питании в зонах выхода кальциевых и железистых грунтовых вод. В этих случаях их зольность достигает 9–21%.

Этот торф обычно образуется в условиях увлажнения грунтовыми водами. В вертикальном разрезе верховых (сфагновых) болот гипновый торф часто образует подстилающие слон, лежащие непосредственно на минеральном дне болота.

Помимо чисто гипнового торфа часто встречаются травяно-гипновые, осоково-гипновые, древесно-гипновые, а также сфагново-гипновый торфа.

Сфагновый низинный торф по окраске светлее вышеописанных торфов, поскольку основную массу растительных волокон образуют сероватые корешки осок и остатки низинных сфагновых мхов, сохранивших светлую естественную окраску. Сфагновый низинный торф встречается на торфяниках склонов при подтоплении бедными грунтовыми водами и в виде сплавин по берегам озер.

Промежуточные группы низинных торфов — древесно-травяная, древесно-моховая и травяно-моховая — образованы соответственно

древесно-осоковым, древесно-тростниковым, древесно-хвощовым, древесно-сфагновым, осоково-гипновым и осоково-сфагновым видами низинных торфов. Они обладают общими свойствами, присущими растениям-торфообразователям и торфам основных групп низинных торфов.

При выполнении мелиоративных изысканий важно в полевых условиях диагностировать почвы переходных и особенно верховых болот.

Ниже приведены основные признаки, необходимые для визуальной диагностики основных групп и видов таких торфов.

К древесным верховым торфам относятся: сосново-кустарничковый торф в естественном влажном состоянии — темно-коричневая пластичная масса. Различима лишь кора и древесина сосны и корешки кустарничков. Степень разложения 50–60%, зольность выше, чем у других видов верховых болот (3–5%). В сосновых торфах переходных болот часто встречаются остатки коры березы.

Травяные верховые торфа включают два вида: пушициевый и шейхцериевый верховой.

Пушициевый верховой торф имеет темно-коричневую окраску, в нем хорошо заметны волокна пушицы, постоянная примесь сфагновых мхов, встречаются остатки сосны и кустарничков. Степень разложения высокая — 30–60%.

Шейхцериевый верховой торф имеет темно-оливковую окраску и слизисто-волокнистую структуру. Присутствуют остатки сфагновых мхов. Остатки пушицы до 35%. Шейхцериевый верховой торф формируется в наиболее обводненных участках грядово-мочажинного и грядово-озерного комплексов. Эти участки увлажняются осадками или бедными водами поверхностного стока. Степень разложения весьма высокая — 40–45%, зольность — 2,5%. В нижних горизонтах интенсивно развивается анаэробиоз, сопровождающийся бурным выделением метана (см. ниже — «Всплывание торфа»).

Моховые верховые торфа объединяют пять видов: ангустифолиум, магелланикум, фускум, сфагновый мочажинный и комплексный верховой. Ангустифолиум, магелланикум и сфагновый виды торфов имеют соломистый цвет: фускум-торф — красноватый оттенок, сфагновый мочажинный — желтый цвет и волокнисто-губчатую структуру. Вся группа моховых верховых торфов отличается низкой зольностью (2–4%) и невысокой степенью разложения — 5–25%.

Сфагновый верховой торф слаборазложившийся, имеет волокнисто-губчатое строение, состоит главным образом из веточек, листочков и стебельков сфагнума. Часто попадаются кусочки древесины сосны и красные ниточки вересковых.

2.5.1.5. Диагностика видов сапропелей и их свойства

В болотах, образовавшихся на месте водоемов, придонные слои заняты сапропелями. В естественно-влажном состоянии представляют собой однородную студенисто-желеобразную массу, в которой структурные остатки животных и растительных организмов почти неразличимы. Поскольку при зарастании водоемов образуются чаще всего тростниковые и осоковые болота, над сапропелем залегают слои осокового и тростникового торфов. В составе сапропелей, как правило, отсутствуют растительные остатки высших растений.

Во влажном состоянии сапропель легко отстает от руки, не пачкая ее. При высыхании меняет цвет, сильно твердеет, не размокает, имеет раковистый излом, легко расслаивается на тонкие листочки. Окраска серая, зеленоватая, коричневая, реже желтая и черная.

В сухом состоянии на огне обугливается, издавая неприятный запах горелого мяса, иногда горит коптящим пламенем.

В зависимости от содержания минеральной и органической части различается несколько видов сапропелей. На европейской территории чаще всего встречаются следующие сапропели: глинистые, характеризуются большой пластичностью (цвет их обычно серый); песчанистые, примесь песка заметна на ощупь и на глаз; известковистые, содержат большое количество известковистых частиц, часто имеют примесь кремнезема, цвет их белесовато-светло-серый, иногда почти белый; диатомовые, обогащены кремнеземом, содержат часто окислы железа, придающие им темный пли коричневый цвет; детритовые, состоят в основном из органической массы. Окраска детритового сапропеля разнообразна: коричневая, оливковая, желтоватая, розоватая и др.

Глава 3
Методы изучения физических свойств почв

В этой главе рассмотрены специальные методы изучения физических свойств минеральных гидроморфных, органогенных болотных и каменистых почв.

Изучение физических свойств почв позволяет уточнить их генезис, глубже понять особенности формирования и развития, имеет весьма актуальное производственное значение при решении мелиоративных вопросов. Сведения о фильтрации, водоотдаче, пористости, влажности завядания и другие необходимы для расчета основных параметров дренажа, обоснованного решения вопроса о режиме осушения и орошения и др. Сведения о физических свойствах заболоченных и болотных почв необходимы при изучении их водного режима, установлении причин заболачивания, определении принципиальной схемы осушения гидроморфных почв (Зайдельман 1988).

Содержание работ по изучению их физических свойств в мелиоративных и агрономических целях в значительной степени определяется причинами заболачивания этих почв. Так, в условиях заболачивания почв грунтовыми водами для обоснования способа осушения необходимо определение динамической влагоемкости (водоудерживающей способности почв при различном уровне грунтовых вод), горизонтальной фильтрации, высоты капиллярного поднятия. В случае заболачивания почв намывными склоновыми водами особую актуальность приобретает определение предельной полевой влагоемкости, а сведения о высоте капиллярного поднятия и динамической влагоемкости оказываются менее значимыми. Наконец, при смешанном заболачивании нередко оказывается необходимым выполнение широкого комплекса исследований. Поэтому перед началом выполнения полевых работ необходимо оценить наиболее часто встречающиеся причины заболачивания почв в данном регионе, так как это позволит заранее установить направленность, содержание и методику исследовательских или изыскательских работ, необходимое оборудование.

При изучении физических свойств заболоченных и особенно болотных почв необходимо учитывать их значительную изменчивость под влиянием погодных условий во влажные и сухие периоды, а после осушения — в результате влияния мелиоративных и агротехнических мероприятий. Значительные изменения испытывают даже такие, казалось бы, устойчивые свойства, как плотность этих почв. Зависимости изменения этих свойств от тех или иных факторов выявлены еще далеко не полно, а объем накопленных данных по этому вопросу, имеющих обычно узко региональное значение, остается весьма ограниченным.

Изменение физических свойств гидроморфных почв в первую очередь обусловлено тем, что при подсушивании их образцов в лабораторных условиях происходят необратимые коагуляция и дегидратация коллоидов. Поэтому высохшие образцы почв, как правило, имеют большую плотность, меньшую гигроскопичность, более низкую влагоемкость, меньшие значения влажности устойчивого завядания и др. Одно из основных условий правильного определения физических свойств заболоченных почв в лабораторных условиях заключается в том, чтобы образцы, поступающие в анализ, сохранялись при влажности, близкой к естественной.

3.1. Буры для зондирования и бурения минеральных почв

Горизонты почвенного профиля визуально исследуют с помощью специальных буров. Для этой цели могут быть рекомендованы следующие типы буров. В минеральных почвах различного гранулометрического состава, кроме обводненных тонкозернистых песков-плывунов, хорошие результаты могут быть получены при использовании *прибалтийского почвенного бура и зонда Эстмелиопроекта* (рис. 3.1). В обводненных минеральных почвогрунтах этот бур извлекает монолитную колонку до глубины 2 м. Прибалтийский бур прост по конструкции (рис. 3.1) и весьма надежен в работе. Он изготовлен из стали твердых марок. Пробу отбирают буром в три приема. Вначале в почву на глубину 1 м ударным способом деревянным молотом вбивают почвенный бур. Затем в отверстие на верхней части бура вставляют специальный вороток, с помощью которого его поворачивают на 180° в почве и извлекают на поверхность. Монолитный обра-

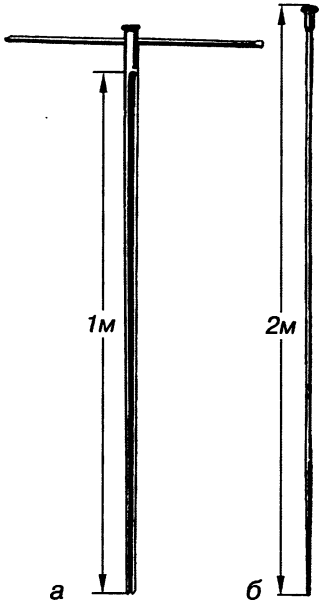


Рис. 3.1. **Прибалтийской почвенный бур (*а*) и зонд (*б*) для отбора образцов ненарушенного сложения на глубину 2 м**

зец почвы, заполняющий широкий паз бура, зачищают и тщательно описывают. После этого в скважину, оставшуюся после извлечения почвенного бура, вводит зонд, с помощью которого отбирается второй монолитный образец высотой 50 см. Зонд извлекают из почвы так же, как и бур. После описания образец удаляют из широкого паза зонда и последний вторично вводят в полутораметровую скважину. Третий монолитный образец характеризует строение почвогрунтовой толщи на глубине 1,5–2,0 м.

Для удаления образца из пазов бура и зонда используют вороток, один конец которого предварительно подвергается специальной заточке.

Для изучения литологического строения заболоченных почв и особенно для отбора образцов при определении влажности из серии буров, выпускаемых в настоящее время промышленностью, может быть рекомендован бур АМ-16. Заводской экземпляр бура, состоящий из ложки, штанги и воротка, позволяет отбирать пробу с глубины до 1,5–1,7 м. Глубина бурения может быть увеличена при использовании комплекта дополнительных метровых штанг, снабженных соединительными муфтами (рис. 3.3).

В мелиоративной практике для поиска дрен в минеральных и торфяных почвах используют щуп-дреноискатель. Его важный конструктивной особенностью является незначительный наплыв в



Рис. 3.2. **Ложка почвенного бура АМ-16**

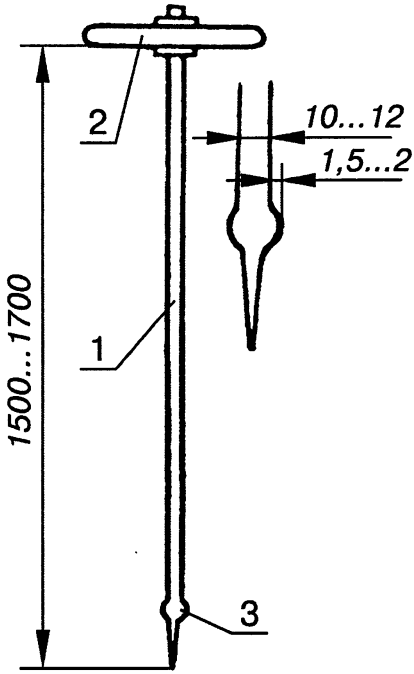


Рис. 3.3. **Щуп-дреноискатель: 1 — штанга щупа; 2 — рукоятка щупа; 3 — утолщение (наплыв) щупа**

нижней части штанги (рис. 3.3). Благодаря такому шарообразному наплыву, щуп без существенного сопротивления минеральной толщи входит в глубокие горизонты почвы. Крестообразный *бур Рязаньгипроводхоза* (рис. 3.4, *а*) предназначен для послойного отбора образцов минеральных почв до глубины 1,8 м. Бур обладает очевидным преимуществом, поскольку благодаря прямоугольной форме открытой ложки создаются условия для ее быстрого освобождения от излишней почвы. Этот бур удобен для работы на суглинистых и глинистых почвах.

На песчаных почвах целесообразнее использовать специальный конический бур (рис. 3.4, *б*) с округлой формой

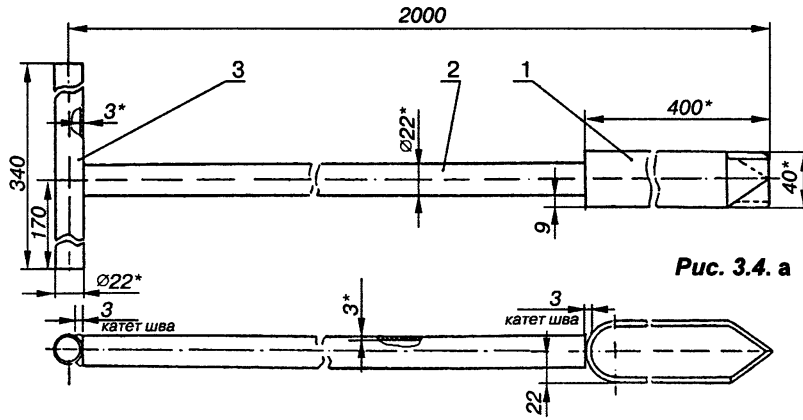


Рис. 3.4. а

Рис. 3.4. **а) Крестообразный бур Рязаньги[illegible]проводхоза для работы в суглинистых и глинистых почвах; б) ложка Деркульского почвенного бура для работы в песках**

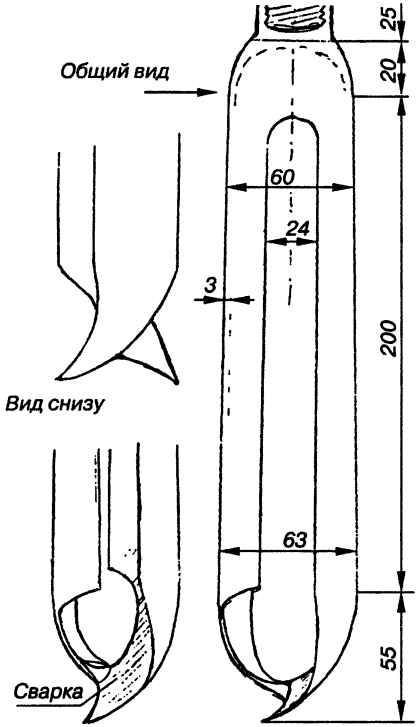


Рис. 3.4. б

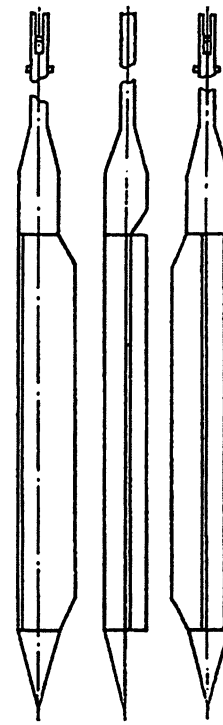


Рис. 3.5. **Бур Инсторфа**

ложки, затрудняющей «вытекание» песка из рабочей части бура.

3.2. Буры для зондирования торфяных почв и торфяной залежи

Для визуального изучения ботанического состава и степени разложения торфа, а также наличия различных минеральных прослоек в толще органогенных почв используют *бур Инсторфа* (рис. 3.5) или буры иных систем, отличающихся длиной, формой челнока, копья, способом соединения штанг, например, *бур Гиллера.*

В *буре Инсторфа* штанги длиной 1 м скреплены с помощью ниппелей, копье — винтовой формы, челнок длиной 0,5 м состоит из ложки и сердечника. Ложка представляет собой полуцилиндр с остро отточенными краями. Ложка закрыта сердечником — металлической пластинкой, плоской с одной стороны и снабженной тонким гребнем,

равным по высоте внутреннему полудиаметру ложки — с другой. Гребень сердечника разделяет пополам полость ложки и препятствует нарушению структуры торфа при взятии пробы. Сердечник с внешней стороны имеет крыло, которое препятствует вращению сердечника челнока в залежи.

При работе бур с закрытым челноком погружают в залежь на исследуемую глубину. Затем поворотом ручки бура по часовой стрелке несколько раз открывают ложку. Поворотом ручки в обратную сторону (против часовой стрелки) ложку закрывают. При этом острый край ее, описывая поворот, плотно прилегает к гребню сердечника и вырезает из залежи образец торфа, не нарушая его структуры. Заполненный торфом бур извлекают на поверхность, челнок с наружной стороны тщательно очищают от приставшего торфа, открывают и образец вынимают с помощью лопатки. Перед каждым последующим погружением бур промывают водой или протирают живым мхом. Образцы отбирают через каждые 25 см. Таким образом, челнок в 0,5 м позволяет отбирать за одно погружение образцы с двух глубин. Отобранные образцы тщательно упаковывают, нумеруют и регистрируют в дневнике.

Характер минерального ложа болота определяют при зондировании торфяной залежи. Залежь проходят насквозь до грунта *зондировочным буром* (меньшего диаметра, чем пробоотборочный). Глубину погружения и характер грунта в каждой точке отмечают в полевом журнале [Куликова, 1974].

Бур Гиллера (рис. 3.6) состоит из метровой штанги, воротка и челнока с подвижной заслонкой. На нижнем конце челнока находится

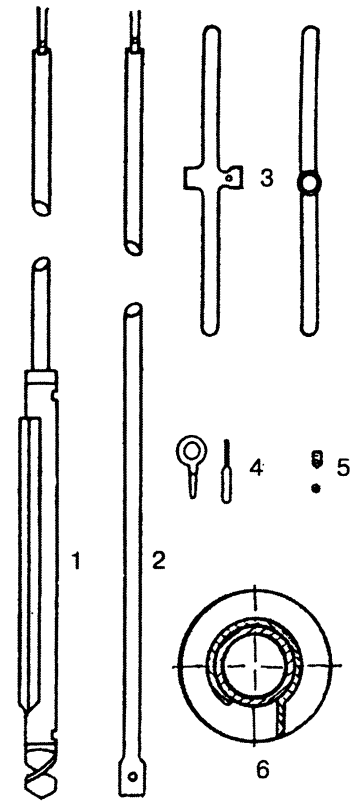


Рис. 3.6. **Бур Гиллера: 1 — челнок; 2 — штанга; 3 — рукоятка; 4 — ключ; 5 — ниппель; 6 — поперечный разрез челнока**

змеевик, облегчающий внедрение бура в толщу торфа. Бур вводят в почву вращением слева направо таким образом, чтобы камера челнока оставалась закрытой до тех пор, пока бур не опустят до исследуемой глубины. Для отбора образца бур резко поворачивают справа налево таким образом, чтобы он совершил полный оборот. При этом камера челнока открывается и заполняется пробой. Сложение образца торфа, отобранного таким образом, близко к естественному. Бур снабжен комплектом штанг, позволяющим выполнять зондирование на глубину до 6 м. Этот бур удобен еще и тем, что в крупнопористых минеральных суглинистых и глинистых почвах и породах с объемной массой менее 1 г/см^3, подстилающих торф, им могут быть отобраны образцы минерального дна болота.

3.3. Определение влажности минеральных гидроморфных почв буровым термостатно-весовым методом в модификации Ф.Р. Зайдельмана[1]

В плохо водопроницаемых почвах, заболоченных поверхностными водами, обычные приемы отбора образцов для определения влажности при бурении могут дать неправильные результаты. Это обусловлено тем, что после завершения паводка или выпадения осадков верхние горизонты таких почв насыщаются до полной влагоемкости, тогда как в нижних плохо водопроницаемых слоях влажность почв остается значительно меньше. Поэтому при бурении для отбора проб почвы с целью последующего определения влажности гравитационная влага верховодки, аккумулированная в верхних горизонтах, быстро заполняет всю скважину, резко увеличивает влажность почвы в забое и вызывает значительное увеличение истинной влажности нижних горизонтов профиля.

С таким явлением можно столкнуться и в тех случаях, когда исследуют влажность почв, приуроченных к двучленным отложениям, верхний легкий (песчаный или супесчаный) горизонт которых подстилается на небольшой глубине водоупорными тяжелыми слоями. В таких почвах, поэтому, для получения истинной картины распреде-

[1] Принято к внедрению институтом Росгипроводхоз рационализаторское предложение Ф.Р. Зайдельмана «Метод определения влажности в слабопроницаемых почвах». Удостоверение на рационализаторское предложение № 10 от 18 октября 1966 г.

ления влажности по профилю нами [Зайдельман, 1969] рекомендован следующий метод бурения с применением набора обсадных труб различной длины (рис. 3.7). При работе на однородных по гранулометрическому составу почвах (суглинистых и глинистых) длина труб обычно не должна превышать 50–60 см; на двучленных породах их длина должна на 20–25 см превышать мощность водоносного легкого горизонта. Обсадные трубы врезают на 10–15 см в водоупорный горизонт, после чего приступают к проходке скважины и отбору образцов на влажность из обводненных пахотных горизонтов (в суглинистых и глиничтых почвах) или из водоносной верхней песчано-супесчаной толщи (в двучленных почвах). После того, как пройдена водоносная толща, перед бурением водоупорных нижних горизонтов из забоя скважины насосом, желонкой или другим инструментом удаляют гравитационную воду и приступают к отбору образцов на влажность из нижних горизонтов профиля.

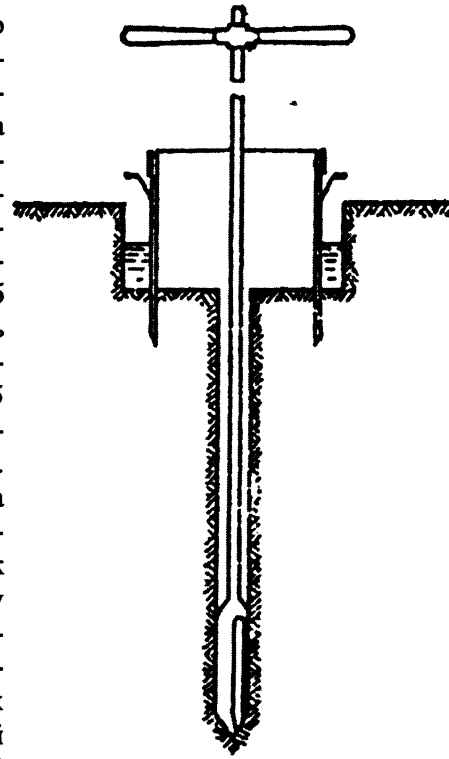


Рис. 3.7. **Обсадка скважин при отборе образцов для определения влажности при поверхностном заболачивании почв тяжелого гранулометрического состава или почв на двучленных отложениях**

Если водоупорный горизонт залегает близко к дневной поверхности, то в этом случае часто целесообразно вести бурение нижних горизонтов после удаления верхнего обводненного пахотного (гумусового) горизонта так, как это показано на рис. 3.7.

При определении влажности торфяных почв термостатно-весовым методом необходимо обратить внимание на следующие три обстоятельства. Во-первых, влажность торфяных почв характеризуется большим пространственным разбросом, что обусловливает необхо-

димость большего числа повторностей, чем при работе на минеральных почвах. В этом случае для многих видов освоенных торфяных почв наиболее значительные расхождения могут иметь место не в верхних, как это обычно свойственно минеральным, а в нижних горизонтах профиля, где наблюдается устойчивая сохранность растительных остатков после осушения болота. Особенно высокая повторность определения влажности оказывается необходимой при изучении древесных торфяных почв. Во-вторых, существует определенная группа торфов, обогащенных соединениями железа, которые после длительного высушивания увеличивают массу в результате интенсивного окисления закисных форм железа. Поэтому сушка таких железистых торфяных почв должна выполняться осторожно, с частым контрольным взвешиванием, причем для расчета следует использовать влажность, предшествующую наблюдаемому увеличению. В-третьих, торфяные влагоемкие образцы сохнут в термостате значительно медленнее, чем минеральные почвы. Поэтому первое взвешивание после высушивания при 100 С проводят через 8 ч и затем выполняют двух-трехкратное досушивание по 2–3 ч до установления постоянной массы.

3.4. Определение плотности торфяных почв по методу Ф.Р. Зайдельмана[1]

Определение объемной массы торфяных почв с помощью ударных буров, исполняемых для минеральных почв, сопряжено со значительными искажениями, так как слаборазложившиеся растительные остатки и живые корни образуют пружинящую массу, внедрение в которую требует больших усилий. Объемная масса торфяных почв, определенная с помощью ударных буров, оказывается завышенной по сравнению с истинной объемной массой таких почв. Поэтому автором был предложен бур для определения объемной массы торфяных почв, отличающийся тем, что при внедрении в органогенные слои его пильчатая кромка разрезает растительные волокна.

Бур для определения плотности торфяных почв (рис. 3.8; 3.9) состоит из цилиндрического стакана объемом 300 см^3 (высота 57,5 мм;

[1] Принято к внедрению институтом Росгипроводхоз рационализаторское предложение Ф.Р. Зайдельмана «Почвенный бур для определения объемного веса торфяных почв и грунтов». Удостоверение на рационализаторское предложение № 44/1457 от 20 июля 1960 г.

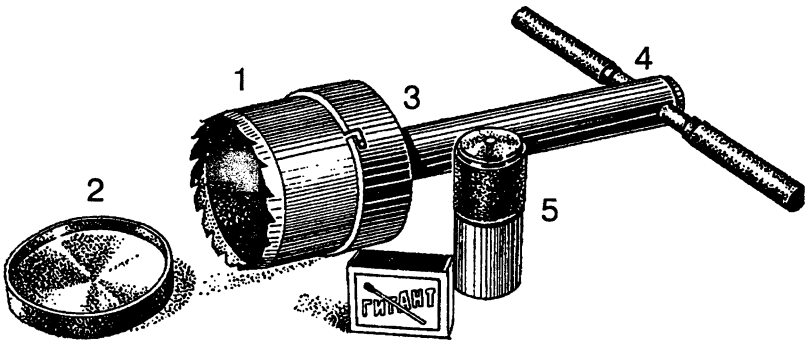


Рис. 3.8. **Бур Ф.Р. Зайдельмана для определения плотности сложения торфяных почв: 1 — бур; 2 — крышка бура; 3 — направитель; 4 — вороток направителя**

диаметр 81,5 мм). Диаметр зубчатой режущей части стакана меньше основного диаметра, так же, как и в буре Качинского, на 1 мм.

На режущей цементированной поверхности стакана имеются зубцы, заточенные по типу продольной пилы. В верхней части стакан имеет три шпенька, входящие в соответствующие коленчатые вырезы оголовка. Последний снабжен рукояткой, воротком и заглушкой.

Бур вводят в торфяную почву равномерным вращением, причем широкое основание позволяет избегать перекосов. С помощью этого бура можно легко и быстро отбирать пробы на осушенных торфяниках.

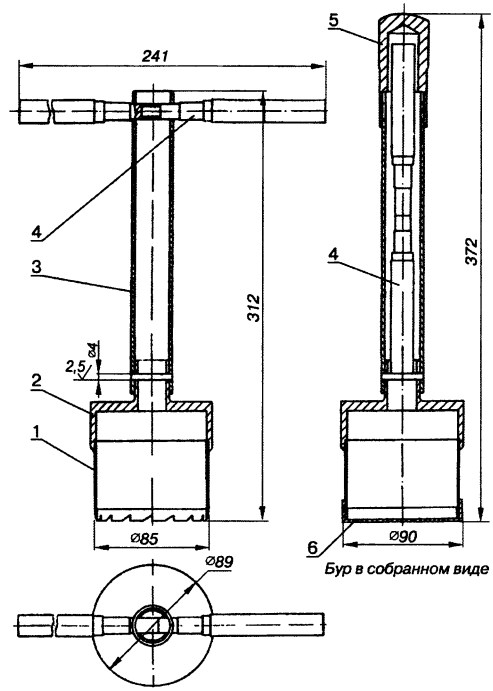


Рис. 3.9. **Разрез бура Ф.Р. Зайдельмана для определения плотности торфяных почв:1 — стакан бура, 2 — оголовок, 3 — труба оголовка, 4 — вороток, 5 — крышка трубы, 6 — крышка стакана бура**

При близком стоянии воды целесообразно вырезать лопатой крупные пласты торфа (45×45×15/20 см) и отбирать образцы этим буром из извлеченных на поверхность торфяных монолитов. Излишки торфа удаляют ножом. Для удобства работы буровой стакан снабжен крышкой.

3.5. Определение плотности торфяных почв в условиях субаквального режима по методу К. Илльнера

Плотность торфяных горизонтов ниже уровня грунтовых вод определяют по методу Илльнера (1960) с помощью устройства, приведенного на рис. 3.10.

К штанге из газовой трубы крепят металлический круг, который соединен через стойки металлического полукруглого футляра (чех-

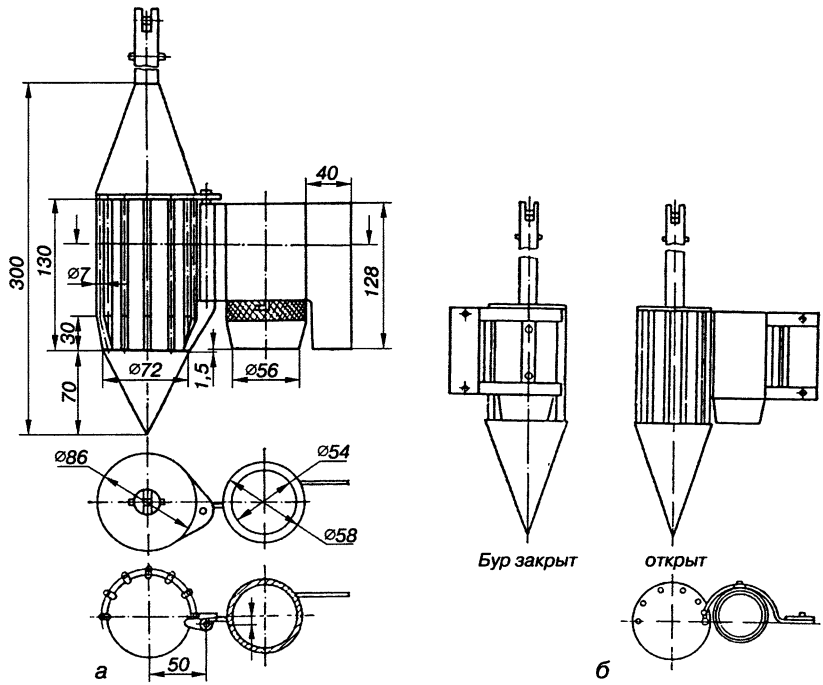


Рис. 3.10. **Бур К. Илльнера для определения плотности в обводненных торфяных горизонтах**

ла) с конусообразным наконечником бура. С крайней стойкой чехла (диаметр 8,5 см) на шарнире соединена подвижная скоба, на которой укреплен режущий металлический цилиндр. Проба торфа поступает во внутренний стеклянный (пластмассовый или др.) цилиндр, который вставляют во внутрь металлического режущего цилиндра каждый раз перед погружением бура в торфяную толщу.

Диаметр стеклянного цилиндра 5,6 см, объем — 100 $см^3$. Стеклянный цилиндр закрепляют сверху металлическим кольцом с отбортовкой, ширина которой соответствует толщине стенок металлического и стеклянного цилиндров. Таким образом, кольцо не деформирует образец при его поступлении в цилиндр. Бур снабжен необходимым комплектом штанг. После погружения на исследуемую глубину бур разворачивают на 180°; при этом пробоотборник на скобе выходит наружу, после после дополнительного нажима проба торфа поступает в стеклянный цилиндр. Бур вновь, но теперь в противоположном направлении, разворачивают таким образом, чтобы металлический режущий цилиндр вошел в чехол бура. После этого бур поднимают на поверхность, снимают удерживающее кольцо и из металлического режущего цилиндра извлекают стеклянный цилиндр с пробой торфа. Затем удаляют излишки пробы и закрывают стеклянный цилиндр двумя крышками. В таком виде проба торфа с ненарушенным строением поступает в лабораторию для дальнейшей обработки.

3.6. Особенности определения плотности набухающих почв и их твердой фазы

Гидроморфные суглинистые и, особенно, глинистые и органические (торфяные) почвы обладают способностью к усадке в засушливые периоды, к набуханию — во влажные. Это явление объясняет объективные причины заметного изменения величин плотности таких гидроморфных почв и их твердой фазы на протяжении теплого периода года.

Разовые определения плотности почв и их твердой фазы с помощью малых образцов (~ 100 см) не позволяют получить объективную характеристику этих важных параметров, достоверно измерить запасы в годичном цикле, например, запасы влаги, элементов зольного питания и др. Оценка их изменения при разной влажности на малых образцах обычно недостоверна, поскольку в сухой период

поверхностные горизонты почвенного профиля подвергаются растрескиванию. В этом случае отбор образца из плотной части горизонта даст определенное искажение абсолютной величины плотности почв в сторону ее увеличения. С другой стороны, отбор образцов из трещиноватой части горизонта определяет существенные отклонения индивидуальных величин выборки от средних в сторону уменьшения. В результате отдельные определения оказываются весьма нестабильными. Вместе с тем реальная плотность в набухающих почвах, очевидно, существенно не меняется, поскольку в сухой период происходит не только уплотнение мелкозема, но и увеличение свободных крупных пор и трещин, которые заполняются твердой фазой почвы при ее набухании в сырой период.

Поэтому нами предложен иной подход к определению плотности почв, способных к набуханию, усадке и растрескиванию. При выполнении изысканий в летний сухой период в случае, если поверхностный слой почвы (в толще до 50 см) находится в сухом состоянии, плотность следует определять с помощью стальной рамы 25×25×5 $см^3$. В такую крупную пробу поступают все структурные элементы почвенного горизонта. Таким образом удается наиболее полно учесть вероятное влияние трещин на плотность почв. Уплотненные при высушивании и усадке монолитные полигоны как бы компенсируются вертикальными пустотами, объем которых достаточно полно учитывается в крупном образце. В этом случае удается установить в сухой почве ту действительную плотность почв, которая свойственна ей в состоянии насыщения, когда трещины исчезают в результате набухания. При использовании такого методического подхода, исходная влажность не имеет существенного значения для определения плотности почв поверхностных горизонтов набухающих почв. Предложенный способ определения плотности почв является более трудоемким, чем определение этого параметра с помощью малых цилиндров. Однако его преимущество заключается в том, что он исключает необходимость неоднократного отбора образцов для определения плотности почв в течение теплого периода, позволяет получить величины плотности почв, характеризующие поверхностные горизонты, при любом увлажнении.

Эта методика не учитывает, однако, вертикальные изменения объема при набухании или усадке. В коалинитовых почвах эти измене-

ния обычно несущественны и в практических целях ими можно пренебречь. Однако в монтмориллонитовых и органогенных почвах следует учитывать изменения, связанные с набуханием, в вертикальном направлении с помощью реперов, устанавливаемых на неподвижное основание в скважинах, заполненных ненабухающими материалами (крупнозернистым песком, мелким гравием и др.). Очевидно, такие изменения наиболее целесообразно выполнять в стационарных условиях.

В более глубоких слоях, влажность которых равна или превышает ППВ, а почвенные горизонты не подвергаются такому растрескиванию, отбор крупных образцов с помощью рамы оказывается излишним. Поэтому здесь возможно определение плотности почв с помощью малых (100 $см^3$) цилиндров Н.А. Качинского. Следует, однако, подчеркнуть, что процесс усадки и дегидратации будет оказывать определенное влияние на плотность твердой фазы. В этой связи необходимо учитывать целесообразность следующей модификации методики определения плотности твердой фазы почв.

Плотность твердой фазы торфяных и заболоченных почв тяжелого гранулометрического состава определяют по широко распространенной методике с помощью пикнометров, применяемых и для автоморфных почв. Однако, сухие образцы почв, обогащенные минеральными и органическими коллоидами, после высушивания в результате их дегидратации и коагуляции приобретают большую плотность, чем при высокой влажности в естественном залегании. Поскольку коагуляция коллоидов горизонтов почвенного профиля в диапазоне естественной влажности обратима, в принятую методику определения плотности вводят следующие дополнения.

Непосредственно после растирания (для минеральных) или отбора средней пробы (для торфяных почв) 30–35 — граммовую навеску помещают в алюминиевый или стеклянный бюкс и насыщают водой до пастообразного состояния. Бюкс закрывают крышкой. Через 6–8 дней из бюкса извлекают 8–10 г пасты, помещают ее в фарфоровую чашку и разбавляют водой. В виде суспензии навеску переносят в пикнометр.

Оставшуюся в бюксе почву используют для определения влажности. Ход последующих операций не отличается от обычно принятых. Определения плотности, выполненные с такой подготовкой

образца, позволяют установить его значения в период длительного избыточного увлажнения почв.

Параллельные определения на сухих образцах и образцах, подготовленных к анализу длительным насыщением, показывают значительные расхождения. Плотность твердой фазы почвы после предварительного насыщения обычно меньше, чем плотность твердой фазы воздушно-сухих образцов.

Такое состояние естественно для набухающих почв во влажный период. В этом случае после насыщения водой образца исследователь получает минимальные значения плотности твердой фазы почвы (ρ_s).

В сухом состоянии в результате коагуляции коллоидов плотность твердой фазы окажется иной, несколько большей. Однако это не будет плотность твердой фазы сухой почвы, поскольку в процессе работы образец в известной степени будет подвергаться гидратации. Для того, чтобы получить искомую величину плотности твердой фазы в сухом состоянии, при этом определении следует использовать инертную жидкость, в частности керосин. Определения ρ_s целесообразны как для набухающих (торфяных, глинистых, особенно для монтмориллонитовых), так и засоленных почв с высоким содержанием водорастворимых солей. Применение керосина предполагает необходимость известной модификации принятой методики определения твердой фазы почв.

3.6.1. Определение плотности твердой фазы торфов, набухающих минеральных и засоленных почв с применением инертных жидкостей по методу А.Ф. Вадюниной и З.А. Корчагиной[1]

Состав работ в этом случае аналогичен определению плотности твердой фазы ненабухающих и незасоленных почв с использованием воды для заполнения пикнометров. В качестве инертной жидкости может быть использован керосин. Изменения, связанные с применение керосина, сводятся к следующему. Керосин должен быть обезвожен и профильтрован. Керосин обезвоживают путем взбалтывания его с силикагелем, прокаленным в муфельной печи при температуре 500°С в течение 4 часов. Силикагель берут из расчета 250 г на 1 литр

[1] *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986.

керосина. Плотность керосина должна быть установлена ареометром.

При проведении анализа все операции выполняют так же, как и для ненабухающих почв, только вместо воды применяют керосин, а вместо кипячения — вакуумирование. Степень разряжения при вакуумировании определяют по началу выделения пузырьков воздуха; вакуумирование следует продолжать до прекращения выделения пузырьков, но не менее 1 часа. При всех взвешиваниях температура керосина должна быть постоянной.

Образец почвы не должен содержать воду, поэтому его предварительно высушивают в течение 10 ч в сушильном шкафу при температуре 105°С. Затем из сушильного стаканчика образец через воронку с длинной трубкой (доходящей до дна пикнометра) быстро переносят в пикнометр, закрывают пробкой и взвешивают. Почву заливают инертной жидкостью слоем в 5–10 мм и оставляют на 10–12 ч для вытеснения воздуха. Затем помещают на 1 ч в вакуум и после этого пикнометр заполняют жидкостью доверху, закрывают пробкой, вытирают полотенцем и немедленно взвешивают.

После часового вакуумирования пикнометр и его содержимое охлаждают и доливают керосином доверху.

Расчет плотности твердой фазы почвы производят по формуле:

$$\rho_s = \frac{p_1 \cdot 100}{(100 + W_r) \cdot V} = \frac{p}{V}, \qquad (1)$$

где ρ_s — плотность твердой фазы почвы;

p_1 — масса воздушно-сухой почвы в пикнометре, г;

p — масса абсолютно сухой почвы, г;

V — объем почвы в пикнометре, $см^3$;

$W_г$ — влажность образца почвы, %

Для наглядности приведем ход расчета:

Масса пикнометра.....a

Масса пикнометра + масса, воздушно-сухой почвы.....$a + p_1$

Масса воздушно-сухой почвы в пикнометре.....$p_1 = (a + p_1) - a$

Гигроскопическая влажность, %.....$W_г$

Масса абсолютно сухой почвы в пикнометре... $p = \frac{p_1 \cdot 100}{100 + W_г}$..... (2)

Масса пикнометра + масса абсолютно сухой почвы.....$p_2 = a + p$

Масса пикнометра + масса почвы + масса воды.....p_3
Масса долитой воды.....$p_3 - p_2$
Температура долитой воды.....t °С
Плотность долитой воды.....D
Объем долитой воды $V_1 = \frac{p_3 - p_2}{D}$
Объем пикнометра.....V_2
Объем почвы в пикнометре.....$V = V_2 - V_1$
Плотность твердой фазы почвы.....$\rho_s = \frac{p}{V}$

Расчет производят с точностью до 0,01.

3.7. Определение плотности, пористости, влажности, воздухоносной пористости каменистых почв по методам Ф.Р. Зайдельмана[1]. Визуальная диагностика переуплотнения минеральных почв

В районах распространения моренных отложений, в зонах пролювиальных шлейфов, на элювии коренных пород, на надпойменных и пойменных террасах речных долин и в староречьях горных и предгорных областей широко распространены почвы, профиль которых обогащен камнями. При изучении физических свойств каменистых почв следует использовать специальные методы, учитывающие особенности гранулометрического состава таких почв. В этих условиях, в частности, целесообразно отказаться от применения буровых методов определения плотности, поскольку даже при относительно небольшом содержании в почве каменистых отдельностей (более 10–20%) и их размере 3–5 см работа такими методами оказывается невозможной.

Поэтому нами [Зайдельман, 1957, 1981] были разработаны специальные методы определения плотности и влажности и предложены формулы для расчета пористости, содержания воздухоносных пор, запаса влаги в каменистых почвах. При последующем изложении мы

[1] Принято к внедрению институтом Росгипроводхоз рационализаторское предложение Ф.Р. Зайдельмана «Метод исследования некоторых физических и водно-физических свойств каменистых почв (объемного веса, пористости, влажности, запаса влаги)». Удостоверение на рационализаторское предложение № 44-4 от 10 декабря 1960 г.

будем исходить из предпосылки, что содержащиеся в почве каменистые отдельности представляют собой «пассивный балласт», не обладающий заметной пористостью и влагоемкостью. Это предположение безусловно справедливо в отношении камней и валунного материала изверженных пород (например, гранита, гнейса, сиенита, кварца, порфирита и др.), а также ряда осадочных и метаморфизированных пород, широко представленных в гумидных ландшафтах европейской территории РФ (кварциты, песчаники, некоторые сланцы и др.). Вместе с тем известковые каменистые отдельности могут обладать определенной влагоемкостью и пористостью, которые должны быть установлены дополнительно и учитываться при расчетах. Пористость таких образцов и влагоемкость учитывают обычно методом парафинирования, а в расчет вводят необходимые поправки на пористость и влагоемкость известковых каменистых отдельностей.

3.7.1. Определение плотности каменистых почв и расчет пористости

При определении плотности каменистых почв объем образца в естественном сложении устанавливают путем точного замера объема выемки, образовавшейся после извлечения пробы. Объем выемки равен объему сыпучего или жидкого материала, которым она заполняется после извлечения образца (рис. 3.11). Для каменистых почв в качестве заполнителя может быть использован средне- и крупнозернистый песок, освобожденный от механических примесей просеиванием через сито с диаметром отверстий 2 мм. С этой же целью могут использоваться стеклянные или металлические шарики, причем последние особенно удобны, потому что могут быть легко извлечены из выемки магнитом. Наконец, объем выемки можно установить по объему жидкости, заполняющей выемку, дно и стенки которой покрывают тонкой и эластичной резиновой или иной пленкой.

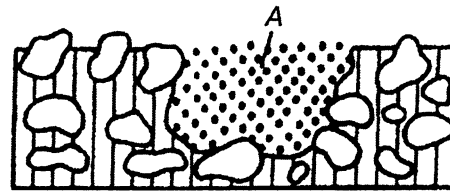


Рис. 3.11. **Заполнение выемки (А) каменистой почвы песком или другим сыпучим или жидким материалом при определении плотности**

Для определения плотности массы каменистых почв необходимо следующее оборудова-

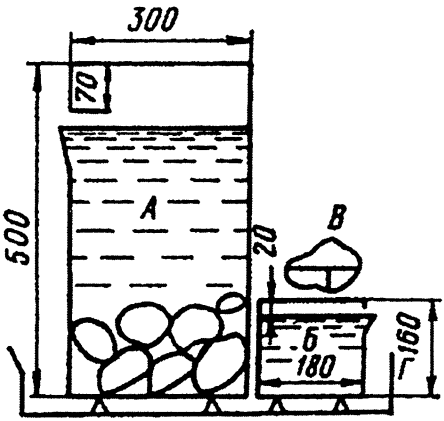


Рис. 3.12. **Сосуды для определения объема каменистых фракций (размеры в см): *А, Б* — большой и малый цилиндры для определения общего объема каменистых фракций и объема выступающих частей каменистых отдельностей; *В* — размеченная каменистая отдельность; *Г* — поддон для сбора вытесненной воды**

ние: стеклянный мерный цилиндр емкостью 1 л; жесткая волосяная кисть; металлический совок; большой и малый металлические цилиндры с поддоном (рис. 3.12); сантиметр; почвенный нож; сито с диаметром отверстий 2 мм; песок, высушенный и просеянный через сито 3 мм или иной заполнитель.

Площадку (1,5–2,0 м^2), предназначенную для взятия почвенных образцов, тщательно выравнивают. Препарируют выступающие части каменистых отдельностей от прилипшего к ним мелкозема. Образцы берут послойно, повторность определений тройная. В некоторых случаях целесообразно ограничиться одной повторностью, увеличив в 2–3 раза размеры выемки.

На отделенных от мелкозема выступающих камнях мягким простым карандашом (или краской) делают прочерк по линии касания дневной поверхности площадки с камнем, а также помечают его выступающую часть.

Совком и ножом аккуратно извлекают пробу каменистой почвы таким образом, чтобы не вызывать обвала стенок выемки. Объем пробы должен быть не менее 5–6 л для почв, не содержащих каменистые отдельности более 10 см, и не менее 7–8 л при наличии в пробе единичных каменистых отдельностей от 10 до 15 см. Глубина взятия пробы 15–20 см в случае, если мелкозем, переслаивающий каменистые отдельности, представлен суглинками, и 8–15 см, если мелкозем представлен песком или супесью.

Далее с помощью совка и жесткой кисти из выемки извлекают разрыхленную и осыпавшуюся в процессе взятия пробы почвенную мас-

су. Для измерения объема выемки ее заполняют песком или иным материалом, объем которого строго учитывают. С этой целью в каждом случае с одной и той же высоты заполняют мерный цилиндр песком и с такой же высоты свободно высыпают песок из мерной емкости в выемку. Однородное уплотнение песка в мерной посуде и в выемке может быть достигнуто стандартным уплотнением путем определенного по частоте (25–30 раз) погружения тонкой металлической пластинки.

Сырую пробу каменистой почвы удобно отбирать в пластмассовый мешок. Пробу взвешивают и отбирают образцы для определения влажности (в тройной повторности). Общую пробу освобождают от мелкоземистых фракций (частиц менее 0,2 см) промывкой всей почвы на сите (2 мм) в текущей воде. Освобожденные от мелкозема каменистые отдельности сушат до воздушно-сухого состояния и определяют их общую массу M_{ok}.

Для того, чтобы определить плотность каменистой почвы, необходимо прежде всего определить массу образца без учёта массы частей каменистой фракции, выступающей над поверхностью площадки. С этой целью определяют их объём, погружая выступающие части каждой каменистой отдельности в мерный сосуд. общий объём вытесненной при этом воды соответствует суммарному объёму всех выступающих частей камней. Далее по геологическому справочнику находят плотности пород разного генезиса, перемножают объём выступающих частей на плотность пород и получают общую массу выступающих частей каменистых отдельностей ($M_{вк}$).

Далее из общей массы камней $M_{ок}$ вычитают массу их выступающих частей $M_{вк}$ и получают массу камней (M_s), находящихся в пробе почвы, ограниченной объёмом выемки, т.е. $M_s = M_{ок} - M_{вк}$.

Объём камней в выемке (V_s) равен общему объёму камней ($V_{ок}$) минус объём выступающих частей каменистых отдельностей ($V_{вк}$), то есть $V_s = V_{ок} - V_{вк}$.

Объем песка, пошедшего на заполнение выемки, есть общий объем извлеченного образца каменистой почвы в естественном сложении (V) минус объём выступающих частей камней.

Суммарный объем каменистых фракций определяют погружением последних в наполненный водой большой цилиндр. Объем воды, вытесненной в этом случае, есть объем каменистых фракций почвы (V_s). Далее рассчитывают общую массу образца сухой каменистой почвы

(M), взятой для определения плотности (абсолютно сухая масса мелкозема плюс масса воздушно-сухих каменистых отдельностей минус масса выступающих каменистых отдельностей).

Если работа ведется на мелкокаменистых почвах, а объем выступающих частей каменистых отдельностей мал и им можно пренебречь в практических целях, то объем выемки можно определить по количеству воды (или другой жидкости), заполнившей выемку, поверхность которой предварительно покрывают тонкой резиновой пленкой.

Полученные данные позволяют рассчитать общую плотность каменистой почвы:

$$\rho_b = \frac{M}{V} \tag{3}$$

Эти же данные дают возможность определить плотность мелкозема, заполняющего пространство между каменистыми отдельностями:

$$\rho_e = \frac{M - M_s}{V - V_s} \tag{4}$$

Зная плотность мелкозема, нетрудно определить его пористость (%):

$$\varepsilon = \frac{(\gamma - \rho_e) \times 100}{\gamma}, \tag{5}$$

где γ — плотность твердой фазы мелкозема.

Величины, полученные из формулы (5), могут быть использованы для расчета объема различного рода земляных работ, проводимых в каменистых почвах. Формулы (7) (6) позволяют не только оценить плотность сложения мелкозема каменистых почв, являющегося основным вместилищем корней растений, но и перейти к расчету ряда других важных характеристик, например, общей пористости всей каменистой почвы:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_v \left[(\gamma - \rho_e) \times 100 \right]}{\gamma}, \tag{6}$$

где Δ_v — доля мелкозема от общего объема каменистой почвы,

$$\Delta_v = \frac{V - V_s}{V} \tag{7}$$

Плотность каменистых почв целесообразно определять в сухие периоды года, так как замеры объема выемки с помощью песка достаточно сложны во время выпадения дождей и в сырой почве.

3.7.2. Определение влажности каменистых почв, расчет запаса влаги и воздухоносной пористости

Влажность каменистых почв весовым методом может быть определена двумя принципиально разными приемами. Во-первых, высушиванием крупных образцов, содержащих все фракции камней и мелкозема. Этот прием, весьма громоздкий и сложный, обычно искажает показания влажности в результате неравномерного распределения камней различного размера в параллельных пробах. Вместе с тем отбор в поле средней пробы с характерным содержанием каменистых отдельностей сопряжен с потерей влаги. Поэтому при работе с почвами, содержащими каменистый материал изверженных пород, правильнее отказаться от определения влажности в крупных образцах каменистых почв.

Для массовых определений влажности в таких почвах (и грунтах), где каменистые отдельности образованы изверженными или осадочными породами, не обладающими заметной влагоемкостью и пористостью, — гранитами, гнейсами, сиенитами, песчаниками и глинистым сланцем, кварцем, кварцитом, конгломератами, брекчией и др., рекомендуется другой достаточно точный и быстро выполняемый методический прием.

Поскольку влагоемкость камней перечисленных выше пород весьма низка, расчет влажности каменистых почв проводят исходя только из влажности мелкозема. Для этого из стенки свежеотрытого разреза отбирают в обычный алюминиевый бюкс мелкоземистую часть каменистой почвы. Этот мелкозем, однако, обогащен каменистыми фракциями, полное отделение которых от мелкозема сопряжено с потерей влаги. Поэтому быстро удаляют лишь крупные камни, бюкс закрывают крышкой и взвешивают. Взятый образец высушивают при температуре 100–105°С и определяют общую абсолютно сухую массу пробы, состоящую из мелкозема и некоторого количества камней.

Высушенную пробу высыпают на бумагу, тщательно растирают комочки мелкозема с тем, чтобы выделить содержащиеся в них камни. Затем пробу переносят на сито с диаметром отверстий 2 мм, просеивают и определяют массу оставшихся на сите камней.

Зная общую сырую массу образца M_c, его сухую массу M и массу камней M_s, определяют влажность мелкозема (в %) каменистой почвы:

$$W_e = \frac{M_c - M}{M - M_s} \times 100 \quad (8)$$

Запас влаги S в слое каменистой почвы может быть рассчитан по формуле:

$$S = H \cdot W_e \cdot \rho_e \, (м^3/га), \quad (9)$$

где H — мощность расчетного слоя, см.

Зная пористость мелкозема и объем, занимаемый водой, можно рассчитать воздухоносную пористость (%) в мелкоземе и во всей каменистой почве.

Содержание воздухоносных пор (%) в мелкоземе каменистой почвы при влажности W_e:

$$\varepsilon_e = V_e - W_e \rho_e, \quad (10)$$

а каменистой почвы в целом

$$\varepsilon = (V_e - W_e \rho_e) \cdot \Delta_v. \quad (11)$$

3.7.3. Визуальное определение переуплотнения минеральных почв

В мелиоративной и сельскохозяйственной практике большое значение в современном земледелии имеет систематический контроль за изменением плотности почв в агроландшафтах и своевременное предупреждение их переуплотнения. В этой связи следует упомянуть ещё об одном способе оценки плотности, который основан на визуальном определении особенности состояния пахотного горизонта по его морфологии. Метод достаточно прост, доступен каждому изыскателю и землепользователю. Он сводится к выполнению следующих действий.

В сухой период года при влажности почвы в широком интервале влажности от ВЗ до ППВ острой лопатой из поверхностного пахотного горизонта вырезают параллелепипед. Его высота должна соответствовать мощности пахотного горизонта, ширина — 15 см, длина — 20 см. Затем этот образец устанавливают на поверхность почвы в вертикальном положении и двумя–тремя сильными ударами деревянного молота (или ноги) у основания установленного в таком положении образца пахотного горизонта почвы вызывают его сотрясение. При таком сотрясении переуплотнённые пахотные горизонты расслаиваются в го-

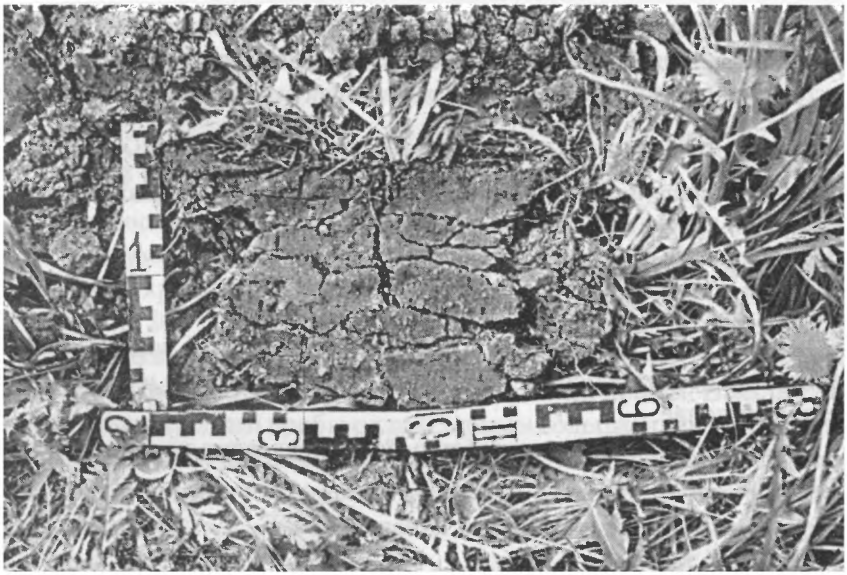


Рис. 3.12а. **Сеть параллельных трещин, возникших после встряхивания образца уплотненного пахотного горизонта дерново-подзолистой глубокооглеенной суглинистой почвы**

ризонтальном направлении. Вместе с тем в непереуплотненном (контрольном) образце такого расслоения не происходит (рис. 3.12, *а*).

3.8. Лабораторные и полевые методы определения гидрологических констант гидроморфных почв

3.8.1. Определение влажности устойчивого завядания растений на торфяных почвах методом вегетационных миниатюр в модификации Ф.Р. Зайдельмана и В.Г. Виноградова

Влажность завядания растений — одна из основных почвенно-гидрологических констант, необходимая в мелиоративной и агрономической практике для определения диапазона активной влаги, построения водобалансовых расчетов осушаемой территории, уточнения сроков полива и т.п.

Для определения влажности завядания торфяных почв может быть использован метод проростков (вегетационных миниатюр).

Применение косвенных методов (например, косвенный расчет влажности завядания по максимальной молекулярной влагоемкости и др.) часто не дают удовлетворительных результатов. Применение метода проростков целесообразно потому, что корневая система растений, развиваясь в ограниченном объеме почвы, помещенном в алюминиевый бюкс, густо пронизывает образец торфа и полностью усваивает продуктивный запас влаги. Поэтому определение влажности завядания методом проростков приближает опыт к условиям пахотного горизонта торфяных почв, то есть к тому горизонту, в котором сосредоточена основная масса корней растений.

Методика определения влажности завядания методом вегетационных миниатюр подробно описана [Астапов, Долгов, 1953]. В дополнение к этим указаниям необходимо отметить специфические особенности, обусловленные работой с торфяными почвами. При постановке вегетационных опытов с верховыми, переходными и часто с низинными торфяными почвами следует иметь в виду, что корневая система проростков быстро поражается плесенью и выпревает. В этом случае получаемые значения влажности завядания носят весьма неустойчивый характер. Для устранения этого явления рекомендуется [Зайдельман, Виноградов, 1961] полив растений на протяжении опыта проводить питательной смесью Кнопа (раствор 1 г $Ca(NO_3)_2$; 0,25 г KH_2PO_4; 0,25 г $MgSO_4$; 0,125 г KCl и следы $FeCl_3$ в 1000 $см^3$ воды). Полив растений таким раствором обеспечивает вполне удовлетворительное их развитие независимо от зольности, степени разложения и ботанического состава торфяных почв.

Косвенные определения влажности завядания (например, по максимальной молекулярной влагоемкости) в случае органогенных почв дают существенные отклонения от истинных значений. Только после высушивания или интенсивного дренажа и окультуривания можно обнаружить определенное совпадение влажности завядания и максимальной молекулярной влагоемкости.

3.8.2. Определение предельной полевой влагоемкости (ППВ)

Предельной полевой влагоемкостью (ППВ) следует называть максимальную влажность, которую с л о и с т а я почвенная толща может удерживать в относительно неподвижном состоянии после полного насыщения и стекания гравитационной влаги при отсутствии подпора от грунтовых вод и испарения с поверхности.

При оценке водоотдачи и расчете коэффициента водоотдачи преимущественно для почв поверхностного заболачивания необходимо определить предельную полевую влагоемкость. Определения при отсутствии грунтовых вод и верховодки в толще 3 м выполняют по следующей методике.

ППВ следует отличать от НВ (наименьшей влагоемкости). Под НВ понимают максимальную влажность, которую неслоистая почвенная толща может удерживать в неподвижном состоянии после полного насыщения и стекания гравитационной влаги при отсутствии подпора от грунтовых вод и испарения с поверхности.

Как правило, почвы отличаются в разной степени выраженной слоистостью. Даже в однородной по гранулометрическому составу почвенной толще вспашка создает определенную неоднородность, слоистость. Последняя возникает в однородной почве в результате давления техники на поверхностные слои. К слоистым следует относить и такие однородные по гранулометрическому составу почвы, которые в процессе мелиоративного и агрономического воздействия существенно изменяют свою пористость, плотность сложения и другие свойства, определяющие миграцию влаги и их водоудерживающую способность. К таким воздействиям следует относить и глубокое мелиоративное рыхление, смешанное, покровное и смешанно-слойное пескование, кротование, чизелевание и другие мероприятия. Поэтому для осушения и расчета дренажа необходимо определение ППВ, а не НВ. На это обстоятельство следует обратить особое внимание потому, что обычно ППВ больше НВ. Поэтому коэффициент водоотдачи при влажности, равной ППВ, всегда будет меньше, чем при влажности, равной НВ. Это значит, что междренные расстояния E при использовании коэффициента водоотдачи $K_{ППВ}$ для расчетов будут больше, чем при оценке $K_{НВ}$. Таким образом, осушительная система, во-первых, окажется экономичнее и, во-вторых, будет исключена возможность переосушки почв в результате неоправданного сгущения дренажа.

На недренированной территории при высокой влажности предельная полевая влагоемкость почв может быть определена на монолитах.

В слабоводопроницаемых почвах, заболоченных поверхностными водами, в условиях обильного обводнения верхних горизонтов отбор монолитов сопряжен со значительными трудностями, а иногда ока-

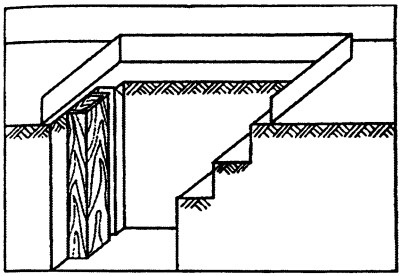


Рис. 3.13. **Защита шурфа от поступления верховодки большой металлической рамой при отборе образцов и монолитов в тяжелых слабопроницаемых почвах**

зывается невозможным. В этом случае целесообразно использовать относительно несложный, но облегчающий полевую работу методический прием.

Для того, чтобы резко сократить поступление воды в разрез, на поверхность почвы устанавливают металлическую раму, размер которой несколько превышает длину и ширину шурфа (2×1×0,3 м). Раму заглубляют в почву легкими ударами или надавливанием. На участке, ограниченном рамой, удаляют с поверхности воду (рис. 3.13). Последующая проходка разреза сопровождается откачкой постепенно накапливающейся в выработке воды вручную или насосом (например, мотопомпой М600 и др.).

Затем из защищенного от поступления гравитационной воды разреза отбирают монолитный образец почвы размером 0,20×0,15×100 (120) см. Монолит насыщают влагой до полной влагоемкости, оборачивают в пленку или плотную бумагу для предотвращения испарения и устанавливают на сухую почву, сняв торцовую крышку для стекания гравитационной влаги.

После завершения отекания воды (устанавливается экспериментально, условно в песчаных почвах — через 2, в супесчаных — через 3, в суглинистых — через 5–6, в тяжелосуглинистых — через 7–8, глинистых бесструктурных — через 9 дней) снимают одну продольную крышку монолита, образец зачищают и отбирают пробы для определения влажности, которая соответствует предельной полевой влагоемкости.

Достоверные значения влажности при методе определения предельной полевой влагоемкости на метровых монолитах обычно получают для толщи 0–70, 0–80 см. В нижнем 20–30-сантиметровом слое влажность почвы в результате водоудерживающего действия менисков на границе раздела монолит — воздух оказывается выше значений, соответствующих предельной полевой влагоемкости.

В сухие периоды на недренированных массивах обычно в середине или в конце лета на глееватых или глеевых почвах в полевых усло-

виях предельная полевая влагоемкость может быть определена методом заливаемых площадей для толщи 1,0–1,3 м в тех случаях, когда верховодка полностью исчезает из почвенно-грунтовой толщи в верхнем слое мощностью 3 м и более.

Если дренированные территории образованы почвами поверхностного заболачивания, то наиболее точные сведения о значениях предельной полевой влагоемкости можно получить при полевом определении. Для этого непосредственно после окончания снегового паводка площадки в 4 м^2 закрывают с поверхности рубероидом, пленкой или другим водонепроницаемым материалом и засыпают слоем почвы 20–30 см. Такие площадки целесообразно закладывать посредине между дренажными линиями. Систематически с интервалом в 3–5 дней на них определяют влажность. Равновесное состояние влажности профиля почвы по трем срокам бурения указывает на то, что влажность почвы достигла значений, соответствующих предельной полевой влагоемкости. Из всех методов определения ППВ этот наиболее надежный.

По данным А.А. Роде значения влажности почвы, близкие или равные предельной полевой влагоемкости, приурочены к зоне перехода капиллярной каймы от зеркала грунтовых вод к зоне равновесного распределения влажности.

Если определение предельной полевой влагоемкости необходимо выполнить в засушливый период, то предварительно выбранные площадки 1,5×1,5 м увлажняют до полной влагоемкости (в слое мощностью 1,3–1,5 м), защищают от испарения пленкой и слоем земли и, затем, по прошествии указанных выше сроков после наступления равновесного состояния производят отбор образцов на влажность послойно через каждые 10 см до глубины не более 1,0–1,3 м. В самом верхнем слое отбор образцов выполняют через 5 см. При этом уровни грунтовых вод или верховодки должны находиться глубже 3 м.

Полезно совмещать определение ППВ с изучением вертикальной водопроницаемости поверхностного слоя в условиях длительного опыта методом заливаемых квадратов по Н А. Качинскому (п 3.9 1).

3.8.3. Методы определения влагоемкости гидроморфных почв

При решении прикладных и исследовательских задач, связанных с изучением заболоченных и болотных почв в мелиоративных целях,

обычно возникает необходимость получения данных о наименьшей влагоемкости, предельной полевой влагоемкости и динамической влагоемкости. Ниже рассмотрены случаи их применения и методы определения.

3.8.3.1. Определение наименьшей влагоемкости торфяных почв по методу С.И. Долгова в модификации И.Н. Скрынниковой

Наименьшая влагоемкость как гидрологическая «константа» необходима для установления горизонтов повышенной влажности, очагов скопления гравитационной воды в осушенной толще, определения диапазона активной влаги и решения других вопросов, характеризующих гидрологические особенности органогенных почв.

Определение наименьшей влагоемкости в осушенных торфяных почвах имеет ряд специфических особенностей, которые часто исключают возможность применения метода высоких колонн и заливаемых площадок. Это связано с тем, что в результате мелиорации и сельскохозяйственного использования их профиль оказывается сложным и дифференцируется на два горизонта — верхний, относительно водопроницаемый и менее влагоемкий, и нижний, отличающийся высокой влагоемкостью и меньшей водопроницаемостью.

Поэтому при использовании высоких колонн возникают условия для накопления влаги сверх наименьшей влагоемкости. Кроме того, использование метода заливаемых площадок в условиях близкого залегания грунтовых вод приводит к формированию зоны капиллярно-подпертой влаги, значительно превышающей эту величину. Поэтому при определении наименьшей влагоемкости освоенных торфяных почв обычно следует отказаться от этих методов.

Ниже приведено описание методики определения наименьшей влагоемкости, предложенной С.И. Долговым (1950) для минеральных почв, модифицированной И.Н. Скрынниковой (1961) для торфяных почв. Метод заключается в том, что НВ определяют на монолитных образцах, которые отбирают в металлические гильзы (объем 500 $см^3$). Гильзы имеют острую заточку и снабжены тремя крышками — двумя сплошными и одной сетчатой.

Образцы торфяной почвы отбирают непрерывно по всему профилю. Их транспортируют в гильзах, закрытых сплошными крышками. Далее определяют массу образца при естественной влажности, сни-

мают верхнюю и нижнюю крышки и одевают снизу сетчатую крышку. Снаряженную таким образом гильзу устанавливают в сосуд с водой, где происходит (1–2 суток) насыщение образца до влажности, близкой к полной влагоемкости (обычно несколько меньше расчетной в связи с наличием в почве защемленного воздуха). После прекращения насыщения гильзы с почвой извлекают из воды, снимают сетчатую крышку, подкладывают под основание образца кружок фильтровальной бумаги и устанавливают на торф с влажностью 40–50 объемных процентов для стекания избытка гравитационной влаги. Сверху патроны закрывают сплошными крышками для предохранения от испарения. В процессе стекания их ежедневно взвешивают. Определение считается законченным после того, как убыль массы становится незначительной (0,5% объема). Влажность почвы после стекания гравитационной воды в таких условиях соответствует НВ, при этом, однако, следует иметь в виду, что абсолютные значения наименьшей влагоемкости для одного и того же слоя в значительной степени определяет его начальная влажность. Поэтому, подвергая такому изучению образцы исследуемой почвы, отобранные в наиболее засушливые и влажные периоды, можно установить весь интервал наименьшей влагоемкости, свойственной определенному слою. Условно этот интервал И.Н. Скрынниковой был разделен на две части — наименьшую влагоемкость сухого (НВ) и мокрого ($НВ_м$) периодов.

3.8.3.2. Определение динамической влагоемкости и водоотдачи заболоченных и болотных почв по методу Ф.Р. Зайдельмана

В условиях грунтового заболачивания предельная полевая и наименьшая влагоемкости являются недостаточными показателями для характеристики водоудерживающей способности почв и их водоотдачи. В этом случае водоудерживающая способность почв зависит также и от положения уровня грунтовых вод. Чем ближе к дневной поверхности их уровень, тем выше водоудерживающая способность почв (рис. 3.14), тем меньше их водоотдача и коэффициент водоотдачи. Поскольку положение уровня грунтовых вод на осушаемой территории определяют нормы (точнее режим) осушения для расчета дренажа необходимы сведения о *динамической влагоемкости почв*, значения которой определяют не только свойства почвы, но и поло-

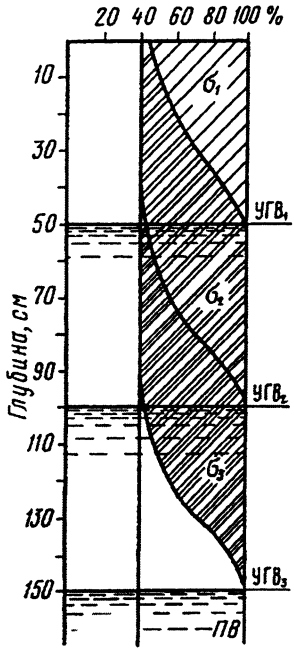


Рис. 3.14. **Изменение водоотдачи почвы при различном уровне грунтовых вод; $\sigma_{1,2,3}$ — коэффициент водоотдачи при разных уровнях грунтовых вод**

жение уровня грунтовых вод. Таким образом, динамическая влагоемкость — максимальная влажность, которую почва может длительно удерживать после полного насыщения и свободного стекания гравитационной влаги при отсутствии испарения и определенном заданном положении уровня грунтовых вод.

Динамическая влагоемкость всегда больше предельной полевой, а при близком стоянии грунтовых вод к дневной поверхности она приближается к полной влагоемкости. При расчете междренных расстояний данные о динамической влагоемкости позволяют правильнее оценить параметры дренажа и избежать излишнего сгущения сети дренажных линий при проектировании осушительных мероприятий. Поэтому при проведении мелиоративных исследований и изысканий важно установить влагоемкость почвы при уровнях грунтовых вод, соответствующих принятому режиму осушения.

Динамическая влагоемкость позволяет не только определить запас влаги, удерживаемый при определенном уровне грунтовых вод, но и уточнить в известной мере глубины оптимального понижения уровня грунтовых вод при осушении. Сопоставление динамической влагоемкости почв с их пористостью дает возможность выявить зону благоприятной аэрации для развития корневых систем растений и на основе этих данных внести необходимые уточнения в принимаемую для данного вида почв норму осушения.

Динамическую влагоемкость, как и предельную полевую в сильно обводненных почвах определяют на монолитах. Для этого монолитные образцы почв мощностью 100–110 см устанавливают в специальный цилиндрический бак, снабженный водомерным стеклом, крышкой и краном (рис. 3.15). Деревянный ящик или парафинированную оболочку монолита перфорируют. Монолит насыщают водой путем постепенного подъема ее уровня в баке. В песчаных и

супесчаных почвах подъем воды должен продолжаться не менее 1–2, в легко-, средне- и тяжелосуглинистых агрегированных — 3–4, в тяжелосуглинистых, глинистых и низинных торфяных почвах — 5–6 суток. После того как уровень воды в баке достигнет верха монолита и насыщение образца закончится, бак закрывают крышкой, открывают сливной кран и опускают уровень воды на ту глубину, которая является расчетной. При изучении динамической влагоемкости в мелиоративных целях создают такое положение уровня свободной поверхности воды в опытной установке, которое обычно соответствует расчетному положению уровня грунтовых вод при осушении заболоченных и болотных почв для размещения технических, овощных или луговых культур. Наиболее часто это соответствует уровням 100–110, 80–90 и 50–60 см.

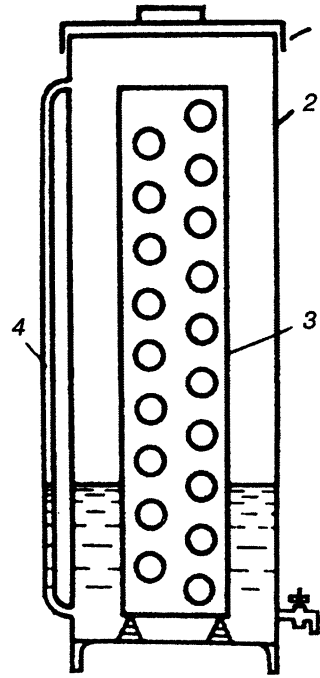


Рис. 3.15. **Схема установки для определения динамической влагоемкости: *1* — крышка резервуара; *2* — резервуар; *3* — монолит; *4* — водомерная трубка**

При определении динамической влагоемкости и водоотдачи необходимо иметь в виду, что полное стекание подвижной влаги в 50-сантиметровом монолите низинных торфяных, тяжелосуглинистых и глинистых почв завершается через пять-шесть суток; в песчаных, супесчаных и легко- и среднесуглинистых почвах соответственно через одни, двое и трое суток.

Из колонны низинных торфяных почв высотой 1 м стекание всей гравитационной воды заканчивается лишь через 20–25 суток.

Однако сток 90% влаги от общей водоотдачи завершается через пять суток. Поэтому при работе с колоннами метровой высоты целесообразно определить водоотдачу и влажность почвы через пять суток, соответственно уменьшив на 10% получаемые результаты в слое ниже 50 см. Для определения динамической влагоемкости и водоотдачи в песчаных, супесчаных, легко-, средне- и тяжелосуглинистых и

глинистых почвах сроки стекания свободной воды должны составлять 2, 3, 4, 6, 8 и 10 суток. После стекания подвижной влаги, не извлекая монолит из бака, тонким буром в двукратной повторности послойно через 10 см отбирают образцы для определения влажности. Запас влаги, установленный при таком равновесном состоянии, будет соответствовать динамической влагоемкости при определенном наперед заданном уровне грунтовых вод. Именно эти значения влагоемкости для определения водоотдачи (коэффициента водоотдачи) должны быть использованы при расчете междренных расстояний в зоне грунтового заболачивания.

Разность между общей пористостью почвогрунта и динамической влагоемкостью, выраженная в объемных процентах, позволяет определить максимальную водоотдачу, то есть количество воды, которое может поступать в дренажную сеть при условии, что все поры исследуемой почвы до начала стекания гравитационной влаги заполнены водой. Истинная водоотдача обычно несколько меньше этой величины, так как даже при длительной обводненности в почве сохраняется небольшое количество пор, занятых защемленным воздухом.

При отсутствии необходимых лабораторных условий динамическая влагоемкость и водоотдача могут быть определены более простым методом. Монолиты почвы высотой 60, 80 или 100 см (или иной высоты, в зависимости от предполагаемого использования территории после осушения) укладывают в горизонтальном положении и освобождают от боковой крышки. На поверхности почвы по всей длине монолита помещают слой изоляционного материала, пред-

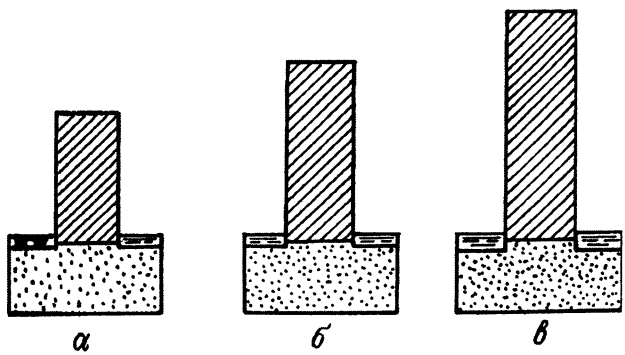


Рис. 3.16. **Схема упрощенного определения динамической влагоемкости, соответствующей трем глубинам (*а, б, в*) стояния грунтовых вод**

охраняющего его от размыва. Монолит осторожно насыщают водой до полной влагоемкости, снимают нижнюю торцовую крышку монолита. Освободившееся снизу пространство заполняют песком, после чего монолит устанавливают вертикально в металлический ящик, цилиндр и др., заполненный обводненным песком (рис. 3.16). Чтобы исключить испарение, монолит заворачивают в бумагу. Уровень воды в металлическом ящике поддерживают таким образом, чтобы монолит снизу на 2–3 см был затоплен водой. После того, как стечет подвижная влага, монолит вскрывают и определяют влажность почвы, которая соответствует динамической влагоемкости при данном уровне стояния грунтовых вод. По этому же монолиту, но установленному на воздушно-сухой почвогрунт, подстилающий монолит в естественных условиях, может быть определена предельная полевая влагоемкость этих почв (последнее выполняют только на метровых колоннах).

Водоотдачу рассчитывают как разность между полной (при практических расчетах часто используют значения общей пористости) и предельной полевой (при поверхностном) или динамической (при грунтовом заболачивании) влагоемкостями. Водоотдачу выражают в м3/га, мм.

3.8.3.3. Расчет коэффициента водоотдачи

Коэффициент водоотдачи σ — отношение водоотдачи, выраженной в объемных процентах, к общему объему почвы, принятому за 100%. Эта величина безразмерная.

$$\sigma = \frac{\varepsilon - C}{100}, \qquad (12)$$

где ε — полная влагоемкость (при приближенных расчетах — общая пористость);

C — предельная полевая или динамическая влагоемкости в объемных процентах.

Коэффициент водоотдачи торфяных почв (для слоя 0–100 см) изменяется от 0,03 до 0,12. Максимальные значения $K_в$ имеют их поверхностные слои (очес); $K_в$ в структурных глинистых, песчаных и супесчаных почвах равен 0,1–0,2; в почвах суглинистого и глинистого микроагрегатного строения $K_в$ = 0,04–0,08. Приближенно коэффициент водоотдачи при различном уровне стояния грунтовых вод для

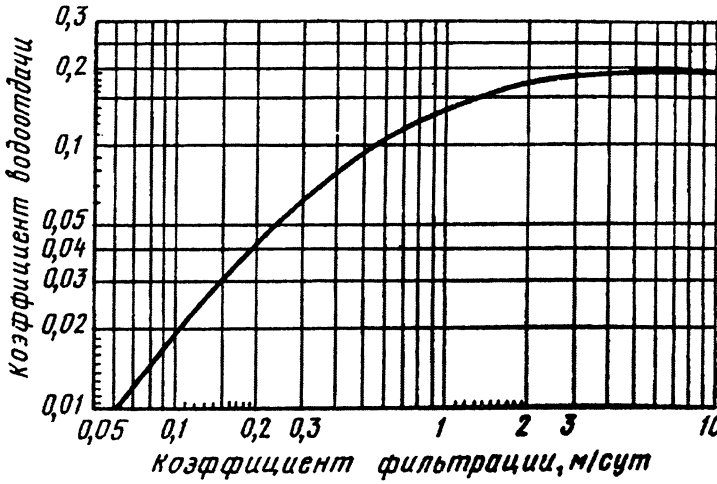


Рис. 3.17. **График зависимости между коэффициентом водоотдачи и коэффициентом фильтрации**

низинных торфяных почв может быть установлен расчетом по формуле К.П. Лундина (1964). Им рекомендовано использовать следующую зависимость:

$$\sigma = 0{,}130 + 0{,}074 \lg K_{\phi}, \qquad (13)$$

где K_{ϕ} — коэффициент фильтрации, м/сут.

Для определения коэффициента водоотдачи может быть использован график, разработанный бюро мелиорации США. Он позволяет установить этот параметр по известным значениям коэффициента фильтрации (рис. 3.17).

3.8.4. Определение наименьшей влагоемкости по методу А.В. Николаева

Определение в полевых условиях наименьшей влагоемкости заболоченных почв часто оказывается невозможным из-за близкого залегания грунтовых вод (или верховодки). Дли приближенных расчетов воздухоносной пористости могут быть использованы значения наименьшей влагоемкости (НВ), установленные в лабораторных условиях по методу А.В. Николаева. Метод позволяет достаточно быстро получить ориентировочные значения НВ. Метод основан на том, что переувлажненный образец после его помещения на гипсовую пластинку утрачивает в результате отсасывания влаги влажный блеск и становится матовым. Этот переход соответствует влажности, близ-

кой к НВ для данного слоя, Определения выполняют на образцах почв нарушенного сложения, пропущенных через сито 1 мм. Для определения НВ по А.В. Николаеву произвольное количество почвы смачивают водой и растирают до образования текучей пасты. 20–30 мл пасты выливают на пористую гипсовую пластинку и выдерживают ее до тех пор, пока влажная и блестящая вначале поверхность не станет матовой. Затем шпателем или ножом такой подсушенный образец снимают, переносят в бюкс и определяют влажность, которая и соответствует НВ. Если процесс отсасывания влаги оказывается длительным (например, в глинистых почвах — более 1 ч), образец во избежание потери влаги прикрывают стеклянным или иным колпаком. Гипсовую пластинку в ходе работы после загрязнения моют и просушивают в сушильном шкафу.

Для приготовления гипсовой пластины используют марки медицинского гипса в виде порошка. Гипс смешивают с водой до образования вязкотекучей массы, которую затем выливают в форму (например, в картонную коробку) и высушивают на воздухе.

3.8.5. Определение наименьшей влагоемкости и водоотдачи на малых монолитах по методу В.Д. Скалабана

В заболоченных почвах при близком залегании грунтовых вод или верховодки в полевых условиях возникают значительные затруднения для определения их водоудерживающей способности. Отбор с этой целью крупных монолитов обычно также оказывается весьма сложной задачей. Поэтому для приближенного суждения о величине наименьшей влагоемкости может быть использован следующий достаточно простой прием определения этой гидрологической константы.

Малый монолит, предназначенный для определения $K_ф$ по методу Хануса, (см. 3.31) после определения водопроницаемости в состоянии полного насыщения устанавливают на тонкопористый керамический фильтр, притертый к бюхнеровской воронке. Воронку через колбу с отростком подсоединяют к вакуумному насосу.

Снизу цилиндра образец удерживается тканевой сеткой, которая крепится на его корпусе снизу резиновым кольцом. Тканевое сетчатое дно обеспечивает наиболее плотный контакт почвы с керамической пластиной. В этом случае не следует использовать металлическую сетчатую крышку.

Пластину готовят из керамической облицовочной плитки, снимая с нее глазурь на шлифовальном станке. Такая пластина после увлажнения обладает свойством при разрежении до 0,5 атм быть непроницаемой для воздуха, но проницаемой для воды.

С помощью насоса создают разряжения, соответствующие водоудерживающей способности почв разного гранулометрического состава, равные НВ. С этой целью используют следующие величины разряжения, позволяющие приближенно определить значения НВ на малых монолитах: 0,95 атм — для песка; 0,90 — для супеси; 0,80 — для легкого суглинка; 0,70 — для среднего суглинка; 0,60 — для тяжелого суглинка, 0,50 — для глины. Образец находится под таким разряжением до полного прекращения стекания воды. Объем воды, вытекающей при наложении такого вакуума, соответствует водоотдаче при влажности, равной НВ а устойчиво удерживаемая влага в самом монолите приближенно соответствует наименьшей влагоемкости. Зная общий вес абсолютной сухой твердой фазы почвы, ее плотность, рассчитывают общую пористость. Разность между общей пористостью и наименьшей влагоемкостью соответствует воздухоносной пористости почв при влажности, равной НВ. Следует подчеркнуть, что способ определения наименьшей влагоемкости на капилляриметре позволяет лишь приближенно определить водоотдачу, так как в этом случае не проявляется взаимное влияние отдельных слоев на водоудерживающую способность почвы.

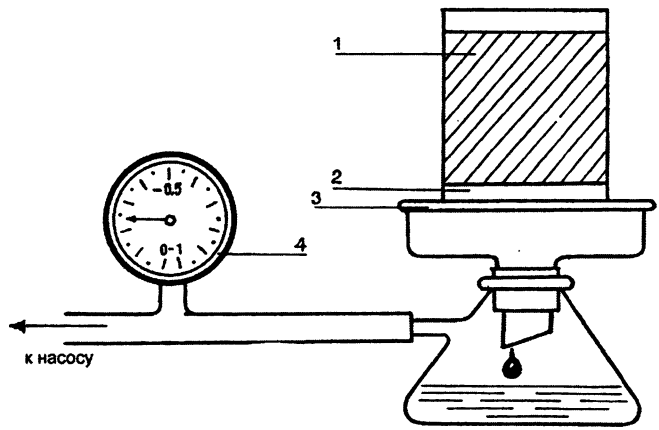


Рис. 3.18. **Установка для определения наименьшей влагоемкости на малых монолитах *Условные обозначения*: *1* — цилиндр с образцом почвы; *2* — сетчатое дно; *3* — пористая керамическая пластина; *4* — манометр-вакуумметр [Скалабан, 1985]**

Схема прибора для определения НВ и σ приведена на рис. 3.18. При монтировании прибора пластину керамического тонкопористого фильтра готовят из обычной облицовочной плитки, предварительной снимая с нее глазурь на шлифовальном станке.

Наименьшую влагоемкость (НВ) в объемных процентах рассчитывают по формуле:

$$НВ = \frac{(B_1 - B_2 - B_3) \cdot \rho_b}{B_3} \cdot 100, \qquad (14)$$

где B_1 — масса цилиндра с образцом почвы и сетчатым дном после отсасывания, г;

B_2 — масса цилиндра с сетчатым дном, г;

B_3 — масса абсолютно сухой почвы, г;

ρ_b — плотность почвы, г/см^3.

Разница между общей пористостью почв ε и наименьшей влагоемкостью соответствует водоотдаче:

$ВО = \varepsilon - НВ$,

а коэффициент водоотдачи равен: $\sigma = \frac{\varepsilon - НВ}{100}$.

3.9. Методы определения водопроницаемости в условиях близкого залегания верховодки или грунтовых вод

Данные о водопроницаемости заболоченных и болотных почв служат для обоснования основных гидротехнических расчетов мелиоративных систем, являются важным критерием при оценке целесообразности применения агромелиоративных мероприятий, необходимы для диагностики причин заболачивания.

В табл. 3.1 приведена оценка значений коэффициента фильтрации почв в связи со строительством дренажа (Эггельсманн, 1984). В дополнение к этим данным следует отметить, что C.L. Fly (1961) при попытке классифицировать почвы по их водопроницаемости считал водоупорными такие слои почвенного профиля, которые обладают $K_ф \leq 0{,}06$ м/сут.

При изучении фильтрационных свойств минеральных и органогенных почв следует иметь в виду их отчетливую анизотропию, то

есть различия свойств, проявляющиеся в вертикальном и горизонтальном направлениях. Особенно важно учитывать эти различия при определении коэффициента фильтрации в торфяных, минеральных слоистых, структурных пойменных и водораздельных почвах.

Таблица 3.1

Классификация коэффициентов фильтрации почв при оценке условий работы дренажа (Эггельсманн, 1984)

Кф, м/сут	Оценка значений	Класс	
< 0,01	Крайне низкий	I	а
0,01–0,06	Очень низкий		в
0,06–0,15	Низкий	II	
0,15–0,40	Средний	III	
0,40–1,00	Высокий	IV	
1,00–2,5	Очень высокий	V	а
> 2,5	Крайне высокий		в

В однородных по гранулометрическому составу песчаных почвах, а также в суглинистых и глинистых почвах в естественном сложении различия значений $K_ф$ в вертикальном и горизонтальном направлениях обычно несущественны. Вместе с тем интенсивное воздействие агромелиоративных мероприятий на глубокие горизонты однородных по составу тяжелых почв (например, глубокого рыхления, глубокой пахоты, интенсивного пескования и др.) может вызвать резкое увеличение водопроницаемости таких почв в горизонтальном направлении.

Почвы наследуют основные физические свойства исходных почвообразующих пород, в том числе и их водопроницаемость (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Коэффициент фильтрации (м/сут.) почвообразующих пород Европейской территории России[1]

Генезис почвообразующих пород	Состав почвообразующих пород	Коэффициент фильтрации, м/сутки
Покровные лессовидные бескарбонатные породы (генезис проблематичен)	Легкий суглинок	0,2–0,4
	Средний суглинок	0,1–0,2
	Тяжелый суглинок	0,005–0,15
	Глина	0,05–0,005
Флювиогляциальные и древнеаллювиальные породы	Песок	1,0–10,0
	Супесь	0,5–1,5

[1] Приближенные средние значения.

Продолжение таблицы 3.2

Генезис почвообразующих пород	Состав почвообразующих пород	Коэффициент фильтрации, м/сутки
Моренные породы	Песок	2,0–4,0
	Супесь	0,4–1,0
	Легкий средний суглинок	0,01–0,1
	Тяжелый суглинок–глина	0,0001–0,01
Аллювий современный	Суглинок	1,0–3,0
	Тяжелый суглинок и глина	0,5–2,0
Лимногляциальные (озерно-ледниковые) породы	Озерно-ледниковые глины	0,001–0,01
	Ленточные глины	Горизонтальный 0,02–0,2
		Вертикальный 0,001–0,01
Элювий пермских карбонатных пестроцветных пород	Суглинок тяжелый	0,1–0,5
	Глина	0,01–0,3

В отличие от аридных районов непосредственным объектом дренажа в гумидных ландшафтах является верхняя толща рыхлых отложений, измененная воздействием почвообразовательных процессов, т.е. горизонты почвенного профиля. Почвенный профиль наследует свойства в значительной мере от исходной почвообразующей породы. Вместе с тем под влиянием современного почвообразования — аккумуляции органического вещества, подзоло- и глееобразования, накопления или выщелачивания углекислого кальция, полуторных оксидов и других процессов — значения $K_ф$, свойственные почвообразующим породам, подвергаются трансформации и нередко приобретают иные, часто существенно отличные от пород, величины $K_ф$. Поэтому особое значение при мелиоративных изысканиях и исследованиях имеют сведения о конкретных значениях $K_ф$, присущих отдельному горизонту почвенного профиля или профилю в целом. В этом случае важен правильный выбор метода определения фильтрации, отвечающего природным условиям и являющегося наиболее пригодным в данной обстановке.

3.9.1. Определение вертикальной водопроницаемости методом заливаемых квадратов по Н.А. Качинскому

Методы изучения вертикальной водопроницаемости верхних слоев (до 1 м) заболоченных и болотных почв при глубоком залегании грунтовых вод и отсутствии верховодки в толще мощностью 2,5–3,0 м не отличаются от обычных приемов исследования автоморфных почв. В этом случае наиболее стабильные данные о значениях вертикальной водопроницаемости могут быть получены при исполь-

зовании метода заливаемых квадратов, предложенного Н.А. Качинским. Для этого могут быть использованы квадратные рамы, устанавливаемые концентрически с учетной и защитной площадью 0,25 и 1,00 м^2 (соответственно размеры учетной и защитной рам 0,5×0,5 и 1,0×1,0 м). Рекомендуемая высота рам 0,3 м. Раму изготовляют из 1,5–2 миллиметрового железа, усиливают ободом или уголками и снабжают двумя ручками. Деревянным молотом рамы забивают в почву на глубину 15 см на пахотных и залежных угодьях. Определение водопроницаемости с поверхности ведется по свежевскопанной и разрыхленной граблями почве, в подпахотных горизонтах — в выемке без нарушения естественного сложения горизонта. При решении специальных задач — например, определении $K_ф$ пахотного горизонта весной, после уплотнения машинами в процессе уборки урожая и др., изучение водопроницаемости выполняют при естественном сложении горизонта A_p без перекапывания.

После установки рам приступают к выполнению определения водопроницаемости. Залив учетной и защитной площадей начинают одновременно. Слой воды 5 см поддерживается по учетным рейкам, установленным как на учетной, так и на защитной площадях. Поскольку процесс впитывания начинается немедленно при контакте первых порций воды с почвой, на учетную площадь сразу подается весь объем воды, который может создать слой, равный 5 см, т.е. в первый интервал времени в учетную площадь сразу вливают объем, равный 12,5 л (50×50×5см = 12500 см^3). Однако при этом из-за начавшегося процесса впитывания уровень воды на рейке всегда будет ниже отметки 5 см. Поэтому сразу производят долив воды таким образом, чтобы поднять уровень воды в учетной площади к концу 1-го интервала времени до 5 см. В дальнейшем на этом уровне поддерживается постоянный напор воды. При изучении водопроницаемости удобно пользоваться стандартными интервалами времени отсчета объемов воды, впитавшейся или просочившейся в глубокие горизонты (например, за 2, 3, 5, 10, 10, 10, 10, 10, 30, 30, 30, 30, 60, 60, 60, 60 и т.д. мин). Наблюдения ведут не менее 6–8 часов, и они считаются законченными, если как минимум в последние два часовых интервала отмечены равные расходы воды. В сухих, а особенно в трещиноватых почвах для получения стабильных значений $K_ф$ часто оказывается необходимым резко повысить продолжительность опыта (до 1–2 суток). В этом случае нередко оказывается целесообразным использовать инфильтрометр Кировгипроводхоза.

3.9.2. Метод определения вертикальной водопроницаемости инфильтрометром Кировгипроводхоза

Особенностью инфильтрометра Кировгипроводхоза является то, что его применение позволяет на протяжении всего периода наблюдения (1–2 суток) автоматизировать подачу воды в защитную и учетную площадки. Вода поступает в рамы (кольца) по шлангам, соединенным через штуцеры с резервуаром. Шланги на выходе оборудуют сантехническими поплавками, которые обеспечивают стабильное поддержание уровня воды (рис. 3.19; 3.20). Устройство для изучения фильтрационных свойств грунтов состоит из металлического бака для воды, двухкольцевого инфильтрометра с диаметром колец 50 и 100 см и системы регулирования подачи воды. Металлический бак состоит из двух измерительных емкостей *7* вместимостью 40 л и емкости *8* вместимостью 160 л для наполнения водой внешних колец. На внешнем кольце инфильтрометра *1* с помощью держателя *3* устанавливаются поплавковые клапаны *2* заводского изготовления, поддерживающие постоянный уровень воды в кольцах. Клапаны с помощью штуцеров *4* и шлангов *9* соединяют с соответствующими емкостями бака. Расходы воды, инфильтрирующейся во внутренних кольцах, определяются в измерительных баках с помощью мерной алюминиевой линейки *6*, закрепленной на пенопластовом поплавке *5*. Для удобства расчетов размеры емкостей подобраны таким образом, чтобы 1 см опускания поплавка соответствовал 0.5 л расхода воды. Конструкция учетной площади обеспечивает определение влаги за первый интервал наблюдений, которая впиталась в почву при

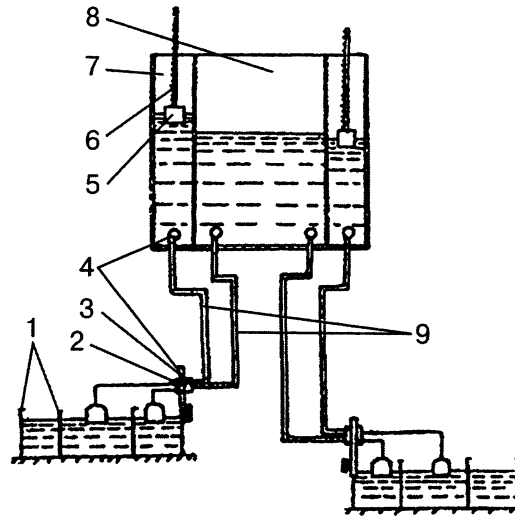


Рис. 3.19. **Разрез инфильтрометра Кировгипроводхоза (пояснения см. в тексте)**

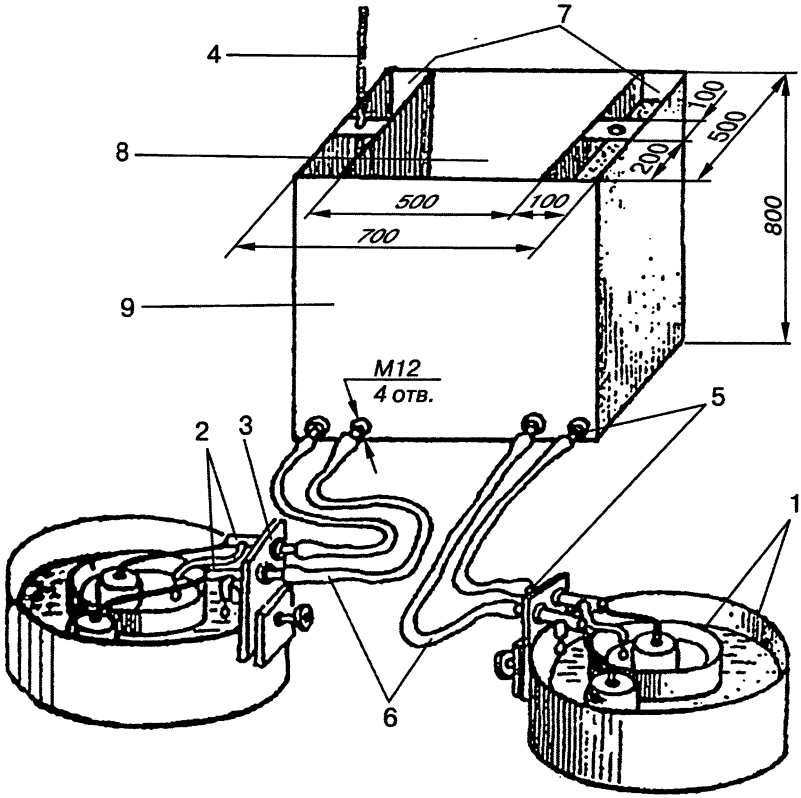


Рис. 3.20. **Общий вид устройства Кировгипроводхоза для полуавтоматического налива воды в шурф.** ***Условные обозначения: 1*** **— 2-х кольцевой инфильтрометр — 2 шт.;** ***2*** **— клапаны поплавковые (ГОСТ 21485-1-76) — 4 шт.;** ***3*** **— держатель — 2 шт.;** ***4*** **— рейка мерная (из алюминия) — 2 шт.;** ***5*** **— штуцер — 8 шт.;** ***6*** **— шланги — 4 шт.;** ***7*** **— измерительные емкости по 40 л — 2 шт.;** ***8*** **— емкость на 160 л — 1 шт.;** ***9*** **— металлический бак**

начальном заполнении водой. В последующие интервалы наблюдений уровень воды в учетной и защитной площадях постоянно поддерживают на высоте 5 см путем автоматического (или ручного) пополнения расходов на впитывание и фильтрацию. При выполнении наблюдений должны быть приняты меры для защиты поверхности почв от размыва.

Инфильтрационные работы производят послойно (например, с поверхности, на глубинах 30, 60, 100 см). Суммарный расход воды за каждый

интервал времени фиксируется в журнале. При наблюдениях глубже пахотного слоя рамы (кольца) устанавливают в шурф, дно которого находится на соответствующей глубине от поверхности [Зайдельман, 1988].

3.9.3. Расчет $K_ф$ при его определении методами инфильтрации. Учет поправок на гидравлический градиент, температуру и капиллярное растекание

При расчете скорости впитывания и водопроницаемости (мм/мин) используют формулу

$$V = \frac{10Q}{T \cdot S}, \qquad (15)$$

где Q — количество профильтровавшейся воды ($см^3$) за время T (мин.) через площадь S ($см^2$).

Коэффициент фильтрации определяют по значениям установившейся в конце опыта скорости фильтрации (обычно по данным скорости фильтрации в конце 6–10-го часа наблюдений), вводя поправку на гидравлический градиент

$$K_ф = V \frac{l}{h + l}, \qquad (16)$$

где l —мощность слоя почвы, через который фильтруется вода;

h — высота слоя воды на поверхности почвы. Обычно слой воды в учетной и защитной рамах равен 5 см.

Мощность фильтрующего слоя l определяют путем бурения и определения глубины проникновения фронта просачивающейся воды по изменению влажности почвы. Эту операцию следует выполнять сразу после завершения опыта по наливу.

Поскольку водопроницаемость почвенного профиля определяется $K_ф$ наименее фильтрующего слоя при длительном использовании инфильтрационных способов, $K_ф$ исследуемого слоя будет стремиться к минимальному значению $K_ф$ нижележащего слоя. Поэтому в слоистых почвах при близком залегании более тяжелого горизонта приближение фронта насыщения к менее проницаемому слою является сигналом для прекращения опыта. В этом случае при установившейся равномерной скорости фильтрации может быть подсчитан истинный $K_ф$ исследуемого горизонта. Контроль движения фронта насыщения в этом случае выполняют с помощью нейтронного влагомера или другим методом.

Для определения действительных значений $K_ф$ в слоистых суглинистых и глинистых почвах выше водоупора Степанов А.Н. (ДальНИИГиМ) рекомендует следующее дополнение к рассмотренным методикам. На близком (~1 м) расстоянии от опытной площадки закладывают шурф ниже верхней кровли водоупорного слоя на 35–40 см. Затем почвенным буром АМ-16 или другим выбуривают две горизонтальные земляные дрены, параллельно друг другу под учетной площадкой. Эти земляные дрены обеспечивают свободный отток гравитационной влаги и позволяют получить значение вертикальной фильтрации ближе к ее действительным абсолютным величинам.

Для расчета скорости и коэффициента фильтрации в ряде руководств рекомендовано в формулы расчета вводить поправки на температуру воды, поскольку в этом случае возможны существенные изменения вязкости. $K_ф$ рекомендуют приводить к единой температуре, используя следующую поправку Хазена:

$$K_{10} = \frac{K_t}{0{,}7 + 0{,}03 \cdot t}, \qquad (17)$$

где K_{10} — коэффициент фильтрации, приведенный к температуре 10 С;

K_t — коэффициент фильтрации при температуре опыта t С.

Однако эта поправка самим автором была использована только для кварцевых песков. В других средах, обогащенных коллоидными частицами, влияние температуры на фильтрацию воды может оказаться более сложным. Температурные условия в этом случае оказывают существенное влияние не только на вязкость воды, но и на коллоидные системы почвы, причем это влияние остается почти неизученным. Сведения такого рода позволяют признать, что в суглинистых, глинистых и торфяных почвах введение поправки на температуру воды нецелесообразно.

В руководствах по гидрогеологическим изысканиям часто предусмотрены поправки на капиллярное растекание влаги $H_к$ при определении $K_ф$ инфильтрационными методами. В этой связи необходимо подчеркнуть, что такие поправки даны для случаев, когда определения $K_ф$ выполняют инфильтрационными методами без защитных полос или с малой площадью опробывания (например, методы Нестерова, Болдырева и др.). Если, однако, определения ведутся с ис-

пользованием широких защитных полос, больших учетных площадей и длительное время (т.е. более 6–8 часов, например, методом Н.А. Качинского), то капиллярное рассасывание резко ослаблено или отсутствует вообще. В этом случае введение таких поправок в расчетные формулы $K_ф$ становится нецелесообразным.

С точки зрения использования значений $K_ф$ для расчета дренажа применение инфильтрационных методов эффективно при влажности почвы близкой к ППВ в отсутствии в ее профиле трещин иссушения. При определении $K_ф$ в иных условиях необходимо предварительное замачивание опытных площадок.

При обработке данных для мелиоративных расчетов $K_ф$ обычно выражают в м/сут. При пересчетах следует иметь в виду, что 1 мм/мин. = 1,44 м/сут. = 0,00167 см/с.

3.10. Метод определения $K_ф$ по скорости восстановления уровня воды в скважине. Латеральная (или боковая) фильтрация

3.10.1. Определение $K_ф$ по восстановлению уровня воды в скважине в неоплывающих и необводненных с поверхности почвогрунтах по методу Д. Доната—Г.Д. Эркина

В мелиоративной практике для расчета основных параметров дренажа наибольшее распространение получил метод определения $K_ф$ по восстановлению уровня воды в скважине. Метод весьма близко отражает условия фильтрации воды в боковом (латеральном) направление к дренам. Он прост, предполагает однократное понижение воды в скважине и последующую фиксацию скорости подъема ее уровня.

По Эркину метод определения $K_ф$ по восстановлению уровня воды в скважине предполагает выполнения следующих операций.

На характерной в отношении рельефа и растительности точке исследуемой почвенной разновидности буром диаметром 10–20 см проходят скважину. При исследовании фильтрационных свойств однородных по гранулометрическому составу горизонтов дно скважины должно залегать на 10–20 см выше отличного по своей водопроницаемости слоя. В слабоводопроницаемых почвогрунтах к определению фильтрации приступают спустя 24–48 ч, в хорошо водопроницаемых через 6–12 часов после завершения проходки скважи-

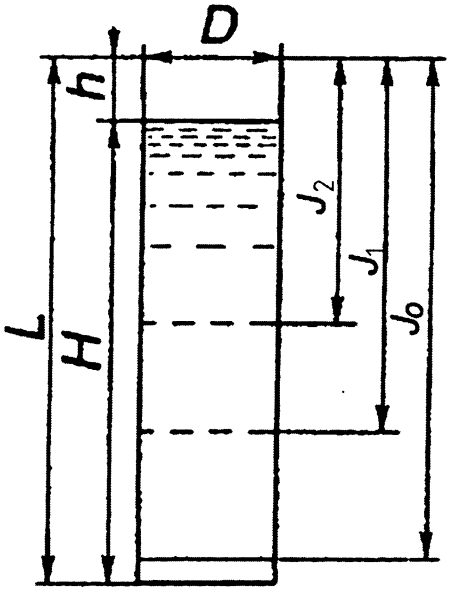


Рис. 3.21. **Параметры скважины, необходимые для определения боковой водопроницаемости.** ***Условные обозначения*****: *L* — глубина скважины; *H* — мощность слоя воды в скважине; *h* — глубина установившегося уровня воды от дневной поверхности; *D* — диаметр скважины**

ны, предварительно удалив скопившуюся при бурении воду. Перед началом наблюдений в полевой журнал записывают глубину установившегося уровня воды от дневной поверхности *h*, глубину скважины *L*, мощность слоя воды в скважине *H* и ее диаметр *D* (рис. 3.21).

После завершения этих измерений насосом, клапанной водочерпалкой (желонкой) или черпаком на длинной ручке (в широких скважинах) откачивают воду. Удобно использовать для быстрой однократной откачки легкую пластмассовую трубу, снабженную резиновым клапаном. Такую трубу опускают в скважину, заполняют водой и извлекают на поверхность (рис. 3.22).

Во всех случаях слой воды в скважине над ее дном не должен превышать 5–10 см. Этот уровень J_0 соответствует началу наблюдений. Время, необходимое для последующих измерений положений воды в скважине J_1, J_2, J_3 и так далее, фиксируют хронометром. Изменение уровня воды в скважине отмечают уровнемером Кибальчича, блоковым уровнемером и мерной рейкой (рис. 3.23).

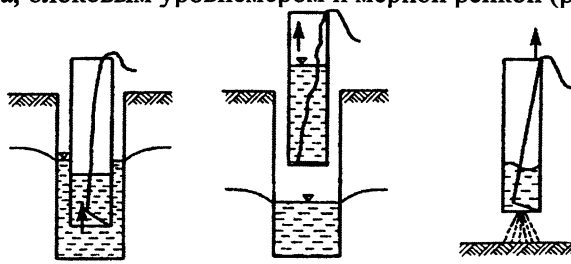


Рис. 3.22. **Труба с клапаном (желонка) для откачки воды из скважины**

Отсчеты продолжают до тех пор, пока уровень воды в скважине в хорошо фильтрующих грунтах не восстановит 3/4*H* (первоначального положения), а в слабоводопроницаемых почвах достигнет высоты, соответствующей 1/2*H*.

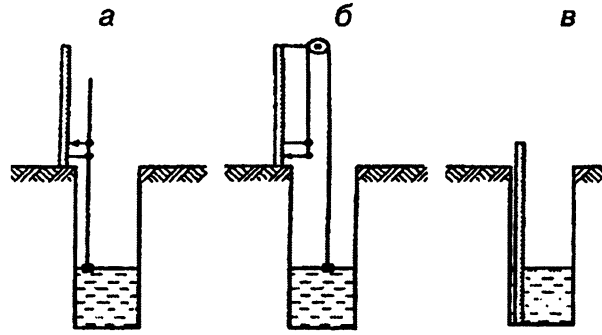


Рис. 3.23. **Различные типы уровнемеров для определения положения воды в скважине: *а* — Кибальчича; *б* — блоковый, *в* — реечный**

Аналогичным образом записывают результаты второго измерения.

После подъема уровня воды в той же скважине повторно определяют горизонтальную фильтрацию, сохраняя ту же последовательность операций. Полевые наблюдения записывают по форме, приведенной в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Формы записи полевых наблюдений при определении горизонтальной водопроницаемости по скорости восстановления уровня воды в скважине после откачки. Глубина скважины — *L*; мощность слоя воды в скважине — *H*; глубина установившегося уровня воды от дневной поверхности — *h*; диаметр скважины — *D*

№	Отсчет времени	Число минут (с) от начала измерения, *t*	Расстояние от поверхности почвы до уровня воды в скважине J_0, см	Незаполненность скважины *J*, см	$\frac{J_0}{J}$	$\lg\frac{J_0}{J}$	$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\lg\frac{J_0}{J}}{t}$
I измерение							
1	9 ч 10 мин	0	93,0	48,0	1,00	0	–
2	9 ч 12 мин	2	90,5	45,5	1,06	0,024	0,012
3	9 ч 15 мин	5	87,0	42,0	1,14	0,058	0,012
4	9 ч 20 мин	10	82,0	37,0	1,30	0,113	0,011
5	9 ч 25 мин	15	77,5	32,5	1,48	0,169	0,011
6	9 ч 30 мин	20	74,0	29,0	1,66	0,219	0,011
7	9 ч 35 мин	25	71,0	26,0	1,84	0,266	0,011
8	9 ч 40 мин	30	68,5	23,5	2,04	0,310	0,010
9	9 ч 50 мин	40	64,5	19,5	2,46	0,391	0,0098

Исходное положение уровня воды в скважине непосредственно после откачки (ноль секунд) обозначают как J_0. Коэффициент фильтрации рассчитывают по формуле Л.Ф. Эркина (1940):

$$K_{\phi} = \frac{3{,}5r^2}{H+D} \cdot \frac{\sum \lg \frac{J_0}{J}}{\sum t} = \frac{3{,}5r^2}{H+D} \cdot \mathrm{tg}\alpha, \qquad (18)$$

где t — время, за которое уровень воды в скважине поднялся от положения J_0 до J (с);

H — расстояние от начального уровня грунтовых вод до дна скважины (см);

D и r — диаметр и радиус скважины (см).

Значения tg α могут быть найдены графически (рис. 3.24) или путем табличного расчета. Для расчета tg α используют интегральное отношение:

$$\mathrm{tg}\alpha = \frac{\sum \lg \frac{J_0}{J}}{\sum t} \qquad (19)$$

Отдельные, резко отличающиеся значения tg α, обычно относящиеся к концу наблюдений, выбраковывают.

Проверка этой формулы К.П. Лундиным (1964) показала ее пригодность для расчета коэффициента боковой фильтрации с введением следующих поправок на диаметр опытных скважин:

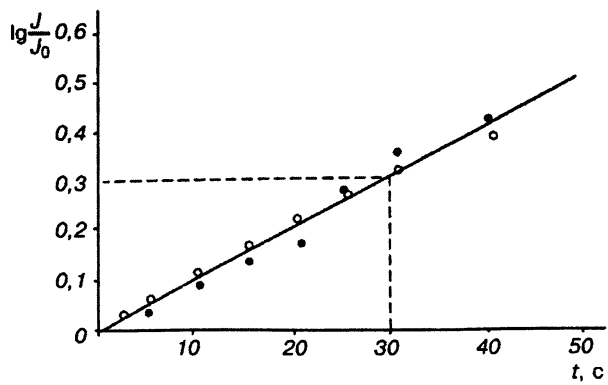


Рис. 3.24. **График для нахождения tg α**

$$\text{для } D = 10 \text{ см} \quad K_{\text{ф}} = 4{,}75\frac{r^2}{H + D} \cdot \text{tg}\alpha\,; \tag{20}$$

$$\text{для } D = 15 \text{см} \quad K_{\text{ф}} = 4{,}45\frac{r^2}{1{,}05H + D} \cdot \text{tg}\alpha; \tag{21}$$

$$\text{для } D = 20 \text{ см} \quad K_{\text{ф}} = 4{,}40\frac{r^2}{1{,}10H + D} \cdot \text{tg}\alpha; \tag{22}$$

$$\text{для } D = 50 \text{ см} \quad K_{\text{ф}} = 4{,}30\frac{r^2}{1{,}15H + D} \cdot \text{tg}\alpha; \tag{23}$$

В зарубежных изданиях метод определения коэффициента фильтрации по восстановлению уровня воды в скважине часто описан как метод С.Б. Хугхаудта – Л.Ф. Эрнста.

Для расчета $X_{\text{ф}}$ в неслоистых почвогрунтах используют формулу Л.Ф. Эрнста:

$$K_{\text{ф}} = \frac{4000\,r^2}{\left(H + 20r\right)\left(2 - \dfrac{J}{H}\right)J} \cdot \frac{\Delta J}{\Delta t}, \tag{24}$$

где J — расстояние от поверхности грунтовых вод до середины зоны подъема, м;

ΔJ — мощность слоя подъема воды от уровня J_0 до J_n;

Δt — время подъема от J_0 до J_n, с.

Если почва слоиста, то для расчета $K_{\text{ф}}$ используют формулу:

$$K_{\text{ф}} = \frac{3600\,r^2}{\left(H + 20r\right)\left(2 - \dfrac{J}{H}\right)J} \cdot \frac{\Delta J}{\Delta t} \tag{25}$$

3.10.2. Метод определения коэффициента фильтрации по восстановлению уровня воды в скважине в обводненных и оплывающих почвогрунтах в модификации Ф.Р. Зайдельмана[1]

Определение $K_{\text{ф}}$ по методу Доната–Эркина может быть выполнено при двух условиях: во-первых, выше исследуемого обводненного

[1] Принято к внедрению проектно-изыскательским институтом Росгипроводхоз рационализаторское предложение Ф.Р. Зайдельмана «Комплект инструментов для определения водопроницаемости в обводненных с поверхности или плывунных почвогрунтах». Удостоверение на рационализаторское предложение № 11 от 18 октября 1966 г.

слоя должна залегать толща, свободная от гравитационной влаги; во-вторых, стенки скважины не подвергаются оплыванию в ходе наблюдений. Однако такие условия нередко отсутствуют, и определение боковой фильтрации по восстановлению уровня воды в скважине необходимо выполнять в слоях, выше которых расположены водонасыщенные горизонты. Кроме того, стенки скважин могут подвергаться быстрому оплыванию, особенно в тех случаях, когда они образованы породами легкого гранулометрического состава. Поэтому, если заболоченные и болотные почвы обводнены с поверхности или выше исследуемых горизонтов, скважину обсаживают металлической трубой таким образом, чтобы исключить поступление воды через устье. Для обсадки скважины могут быть использованы короткие (70, 100, 150) отрезки труб, снабженные воротком.

Буровые скважины следует выполнять специальным шнековым буром (рис. 3.25), который состоит из трубчатой рукоятки и штанги; в нижней части штанга имеет крупное отверстие, защищенное от попадания разжиженного почвогрунта металлической заслонкой. Такая конструкция обусловлена тем, что при извлечении бура из обводненной толщи почвогрунта возникает разряжение, которое удерживает бур в скважине. Наличие трубчатого канала и отверстия в штанге облегчает поступление воздуха, который снимает образовавшийся вакуум. В суглинистых, глинистых и торфяных почвах, пользуясь такой обсадной трубой или комплектами труб разной длины, можно, защитив исследуемый слой от обводнения из вышележащих горизонтов, определить водопроницаемость как всей толщи почвы (суммарную фильтрацию), так и водопроницаемость отдельных крупных слоев. В последнем случае обсадные трубы вводят таким образом, чтобы обеспечить поступление воды в скважину только из исследуемого слоя.

В обводненных легких почвогрунтах применение обсадных труб является недостаточным условием, так как водоносный песок обычно быстро заполняет скважину. В этом случае бурение скважины выполняют с одновременной обсадкой последней металлическими трубами.

Немедленно после завершения проходки песчаной толщи на исследуемую глубину в скважину опускают специальный перфорированный трубчатый фильтр длиной не менее 60 см, обсадную трубу поднимают на поверхность, а фильтр с помощью специальной ручки *2* (рис. 3.25) удерживают в скважине. После подъема трубы верхняя

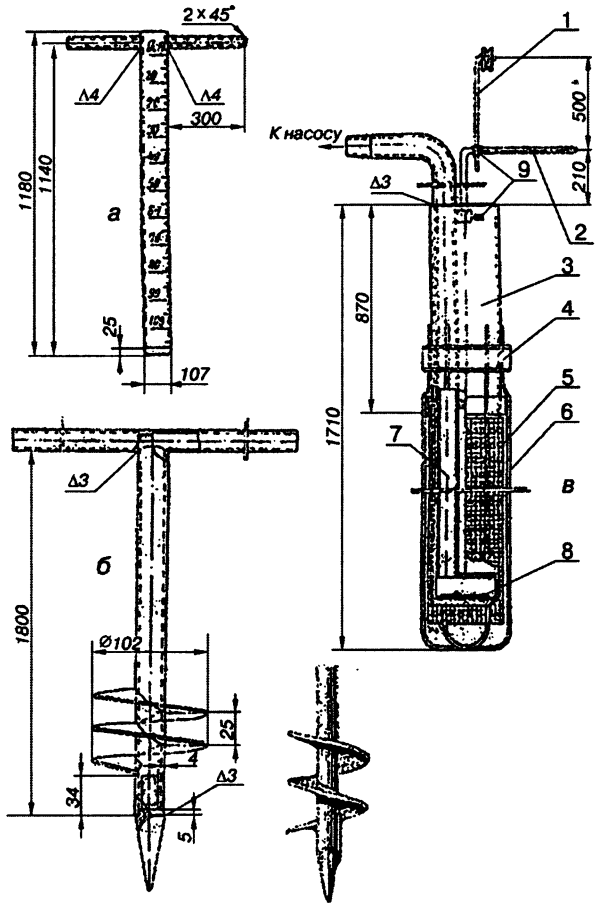


Рис. 3.25. **Комплект инструментов для определения боковой водопроницаемости в обводненных с поверхности почвогрунтах (размеры в мм).** ***Условные обозначения: а*** **— обсадная труба с воротком;** ***б*** **— бур-змеевик;** ***в*** **— монтаж фильтра на обсадной трубе;** ***1*** **— блок уровнемера;** ***2*** **— рукоятка опорной трубы;** ***3*** **— опорная труба;** ***4*** **— кольцо для крепления кожуха;** ***5*** **— съемный фильтр;** ***6*** **— защитный кожух фильтра;** ***7*** **— патрубок для откачки воды из скважины;** ***8*** **— клапан патрубка;** ***9*** **— зажим**

часть фильтра длиной около 10 см должна быть защищена обсадной трубой, а нижний его отрезок длиной не менее 50 см располагается в исследуемой толще почвогрунта.

Для откачки воды из скважины используют ручной насос или желонки. Шланг насоса прикрепляют к металлической трубке, прива-

ренной к внутренней стороне фильтра, а ее верх выступает над кромкой опорной трубы фильтра на 5–10 см. Сетку фильтра защищают от разрыва специальным проволочным кожухом.

Последующие операции определения скорости восстановления уровня воды в скважине после откачки и расчет $K_ф$ — полностью совпадают с изложенной выше методикой (см. 3.10.1).

3.11. Определение вертикальной и латеральной фильтрации почв по методу Г. Хануса

В мелиоративной практике в последние годы для определения $K_ф$ широкое распространение получил метод Г. Хануса (Hanus, Knock, 1965), основанный на определении $K_ф$ в лабораторных условиях на малых образцах ($V = 250$ см^3). Образцы отбирают с помощью режущих цилиндров в 6-кратной повторности в горизонтальном и вертикальном направлениях из шурфа. Определение проводят на предварительно насыщенных водой образцах с использованием несложной аппаратуры (рис. 3.26).

Наиболее целесообразно применение этого метода в образцах со стабильной структурой, низким содержанием гумуса, слабой набухаемостью, без трещин и иных вторичных пор (ходов землероек, корней растений и др.). Метод дает заметную ошибку в образцах песчаных и глинистых почв, в первом случае из-за возможного нарушения структуры при транспортировке и установке образцов, во втором — из-за их трещиноватости и набухаемости. Очевидно, этот метод нельзя использовать для скелетных почв, обогащенных каменистым материалом.

Режущий цилиндр прибора Хануса внедряют в почву для отбора образцов с помощью направителя послойно (рис. 3.27). В каждом разрезе отбор образцов производят по трем слоям. Образец тщательно освобождают от излишков почвы и помещают в струбцину с двумя крышками, имеющими резиновые прокладки. Затем образец в струбцине затягивают винтом и в таком виде транспортируют в лабораторию (рис. 3.28).

Метод определения $K_ф$ по Ханусу требует особо тщательного выполнения всех работ. В полевых условиях необходимо проследить за тем, чтобы при отборе пробы бур не уплотнял почву. После внедрения

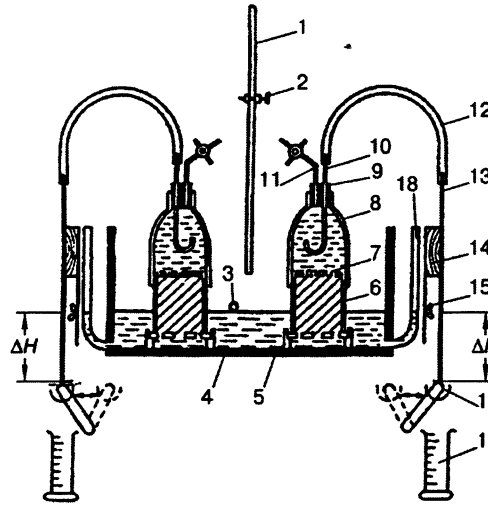


Рис. 3.26. **Прибор для определения $K_ф$ в пробах, отобранных режущими цилиндрами, по методу Хануса: *1* — водопровод; *2* — штатив; *3* — трубка стока; *4* — ванна; *5* — пластиковая защита; *6* — режущий цилиндр; *7* — грубозернистая керамическая пластинка, *8* — пластиковая крыша; *9* — пробка резиновая; *10* — трубка для стока воды; *11* — трубка для выпуска воздуха; *12* — полиэтиленовый переход; *13* — стеклянная трубка; *14* — деревянная планка; *15* — зажим; *16* — качающийся желоб, *17* — мерный цилиндр; *18* — водомерная трубка**

в почву поверхность образца не должна оказаться ниже кромки стакана-пробоотборника. Отбор сухих суглинистых и глинистых образцов приводит к тому, что после их насыщения водой в лаборатории происходит набухание почвы и ликвидация пор фильтрации. Такие гистерезисные явления необходимо учитывать при организации изысканий и постановке лабораторных определений. Поэтому наиболее благоприятным для отбора образцов при определении

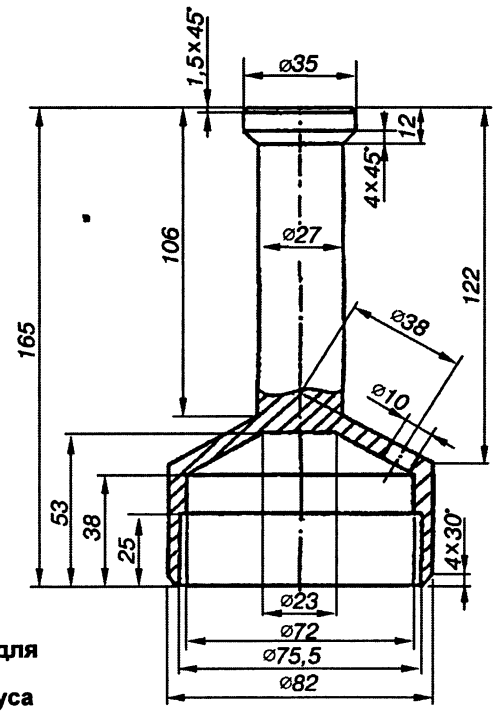


Рис. 3.27. **Направитель для отбора проб режущим цилиндром по методу Хануса**

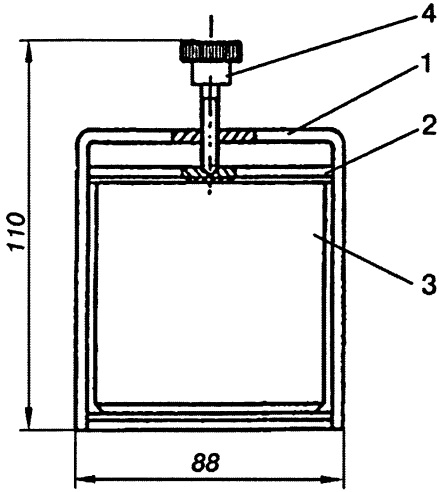


Рис. 3.28. **Струбцина для фиксации пробы по методу Хануса: *1* — корпус струбцины; *2* — крышка с резиновой прокладкой, *3* — режущий цилиндр; *4* — зажимной винт**

$K_ф$ по Ханусу является период, когда влажность почвы равна или больше ППВ. Если влажность почвы ниже этой величины, то опытная площадка должна быть предварительно насыщена влагой таким образом, чтобы ее влажность на протяжении 4–5 дней (на песках 1–2 дня) была равна ППВ или выше этой величины.

В лаборатории металлический стакан извлекают из струбцины и устанавливают на штатив (рис. 3.2*в*), сетчатое дно которого смонтировано на пластмассовом кольце. Диаметр кольца равен диаметру стакана в ванне для насыщения водой. После насыщения водой стакан с образцом на штативе переносят в емкость прибора Хануса. На его верхний торец надевают пластмассовый колпак (рис. 3.26) с трубкой для выпуска воздуха и трубкой сифона. С его помощью регулируют скорость движения воды и подбирают оптимальный напор.

При определении $K_ф$ особое внимание необходимо уделить тщательному замеру напора и расчету гидравлического градиента. Расчет абсолютной величины $K_ф$ (мм/мин.) выполняют по формуле:

$$K_ф = \frac{Q \cdot L \cdot 10}{S \cdot T \cdot (H + L)}, \qquad (26)$$

где Q — объем воды, поступивший из исследуемого образца за время T, см^3;

L — длина образца, см;

S — площадь поперечного сечения образца, см^2;

H — напор, см водного столба;

T — время, мин.;

$K_ф$ — коэффициент фильтрации, мм/мин.

P. Benecke и M. Renger (1969) и другие показали, что значение $К_ф$ исследуемых горизонтов торфяных почв, установленные в поле по восстановлению уровня воды в скважине (методом Хугхауга—Эрнста) и по лабораторным исследованиям на малых образцах методом Хануса, отобранных с помощью режущих цилиндров, оказываются весьма близкими или практически тождественны. Коэффициент корреляции между значениями $К_ф$, найденными этими двумя методами при обработке массовых данных, оказался весьма высоким ($r = 0,91$).

3.12. Определение $К_ф$ расчетными методами

В практике мелиоративных изысканий [Зайдельман, Меннинг, 1979] могут быть использованы расчетные методы определения $К_ф$ по физическим свойствам почв, преимущественно по их гранулометрическому составу. Для разных по происхождению и составу почв, главным образом для неструктурных и малогумусных горизонтов минеральных почв, применяют следующие расчетные зависимости.

Расчет $К_ф$ почв, формирующихся на моренных отложениях, проводят для иллювиальных и глеевых горизонтов, содержащих частицы диаметром менее 0,02 мм от 5 до 50%, по уравнениям, предложенным Эвальдом и Крюгером (1976):

$$\lg К_ф + 2 = 2,50 - 0,067A; \quad (27)$$

$$\lg К_ф + 2 = 1,83 - 0,023A, \quad (28)$$

где A — содержание частиц диаметром менее 0,02 мм по данным гранулометрического состава.

Уравнение (27) применяют для почвы с содержанием частиц < 0,01 мм от 5 до 20%, уравнение (28) — для почв с содержанием этих частиц от 20 до 50%.

Расчет значений $К_ф$ для торфяных почв может быть проведен в том случае, если известны их ботанический состав и содержание твердой фазы (SV, в объемных процентах), по следующим уравнениям, предложенным Е. Гебардт (1964):

для древесного торфа

$$К_ф = 102,37 \cdot SV^{-2,54}; \quad (29)$$

для смешанного (осоково-тростникового торфа)

$$К_ф = 10^{3,67} \cdot SV^{-3,36}; \quad (30)$$

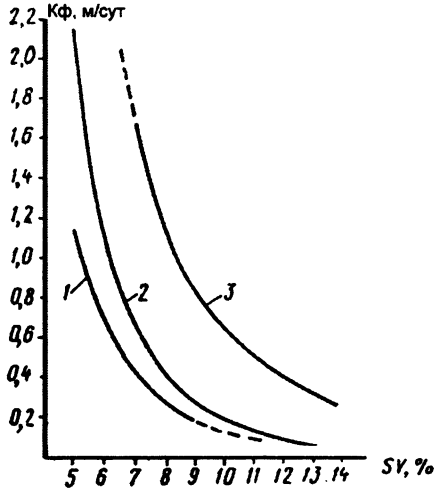


Рис. 3.29. **Зависимость между $K_ф$ торфяных почв и объемной массой (*SV*): *1* — тонковолокнистый осоковый, *2* — смешанный осоково-тростниковый, *3* — древесный торф**

для осокового торфа

$$K_ф = 10^{2,25} \cdot SV^{-3,10}, \qquad (31)$$

где SV — объем твердой фазы;

$SV = 100 - P$, P — общая пористость.

Коэффициент фильтрации $K_ф$ торфяных почв можно установить в этих случаях и по специальным номограммам (рис. 3.29).

3.13. Оценка дренирующей роли почвенных пор по натяжению влаги

При оценке фильтрационных свойств почв большое значение имеет дифференциальный анализ распределения пор по их величине и количеству содержащейся в них воды.

Для работы с гидроморфными почвами такая оценка может быть дана по шкале Бадена и Кунтце (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Характеристика почвенных пор и натяжение влаги

Поры	Влияние на водный режим почвы	Эквивалентный диаметр пор, мм	Натяжение влаги	
			pF	см водного столба
Крупные	Быстрое дренирование	> 50	< 1,8	< 60
Средние	Медленное дренирование	50–10	1,8–2,5	60–350
Мелкие	Вода доступна растениям	10–0,2	2,5–4,2	350–15000
Очень мелкие	Вода недоступна растениям	< 0,2	> 4,2	> 15000

Объем пор различного диаметра в почве определяют с помощью капилляриметров.

3.14. Коэффициенты фильтрации минеральных и торфяных почв и их изменения после осушения

Коэффициент фильтрации минеральных почв определяет прежде всего водопроницаемостью их почвообразующих пород.

Вместе с тем под влиянием процессов почвообразования — оглеения, оподзоливания, гидрогенной аккумуляции и других происходит определенное изменение исходной фильтрации, свойственной почвообразующей породе (табл. 3.5).

Абсолютные значения боковой водопроницаемости торфяных почв зависят от их ботанического состава, степени разложения и в меньшей мере от зольности. Наиболее значительная фильтрация у неразложившегося мохового очеса (до 20–50 м/сут. и более) и у древесного и тростникового торфов (3–15 м/сут.). Водопроницаемость травяного торфа колеблется от 0,3 до 5 м/сут.

К.П. Лундин (1964) на основе обобщения материала обширных полевых исследований рекомендует следующие расчетные значения коэффициентов фильтрации неосушенной залежи: верховая — торфа со степенью разложения 5–10% — 1–5 м/сут., 10–25% — 1–0,1 м/сут.; низинная — торфа осоково-гипновые со степенью разложения 20–25% — 0,2–0,5 м/сут.; осоковый и тростниково-осоковый — 0, 2; 1,0 и 1–2 м/сут.; древесно-тростниковый — 3–10 м/сут.; тростниковый с корневищами тростника — до 50 м/сут.

После устройства дренажа возможны различные изменения $K_ф$ минеральных и торфяных почв, в зависимости от типа почвообразующих пород и почв гранулометрического и ботанического составов, степени разложения и заболоченности. Существенное влияние на $K_ф$ могут оказывать биогенные и техногенные факторы — активное распространение корневой системы культурных растений, деятельность землероев, глубокая пахота и особенно глубокое рыхление почв в сочетании со внесением извести и удобрений (органических и минеральных), уплотнение в связи с обработкой почв тяжелыми машинами.

Таблица 3.5

Изменение $К_ф$ минеральных оглеенных и торфяных почв под влиянием дренажа (Приведены изменения $К_ф$ под влиянием дренажа без учета влияния на физические свойства почв агромелиоративных и агрономических мероприятий)



Для расчета междренных расстояний важно определить $K_ф$ торфяных горизонтов после осадки. Эту величину по предложению Р. Эггельсмана (1984) можно рассчитать по формуле:

$$K_ф^* = K_ф \times (1 - 2{,}5\,a), \tag{32}$$

где a — относительное уменьшение мощности после осадки;

$K_ф$ — коэффициент фильтрации до осушения.

$$a = \frac{M - M^*}{M}, \tag{33}$$

где M — мощность слоя при исследовании до осушения;

M^* — мощность слоя торфа после осушения.

Осредненные данные вторичных изменений $K_ф$ минеральных и торфяных почв разного генезиса и состава после дренажа приведены в табл. 3.5.

3.15. Определения $K_ф$ пахотных горизонтов и дренажных засыпок. Работы по изучению физических свойств почв на объектах-аналогах

В практике осушения заболоченных почв необходимость определения $K_ф$ пахотного горизонта возникает в двух случаях — при расчете параметров дренажа тяжелых почв поверхностного заболачивания и при оценке целесообразности использования гумусированного горизонта в качестве заполнителя дренажной щели или траншеи. Методика решения вопроса о $K_ф$ гумусового горизонта в этих двух случаях различна.

В первом случае *при определении $K_ф$ пахотного горизонта при естественном сложении* отдельных слоев почвенного профиля водопроницаемость определяют способом инфильтрации в полевых условиях. При этом рамы (или кольца) заглубляют таким образом, чтобы между ними и подпахотным горизонтом оставался неперекрытый слой мощностью около 10 см.

Во втором случае *при определении $K_ф$ пахотного горизонта* как изолированного слоя его водопроницаемость следует определять на индивидуальных образцах по методу Хануса. При этом образец горизонта *А*р не испытывает влияния на фильтрацию более уплотненных

нижних подпахотных слоев. Если изыскания ведут на объектах реконструкции (или аналогах), целесообразно произвести отбор гумусированных проб в цилиндры для лабораторного определения $K_ф$. В этом случае образцы отбирают в вертикальном направлении в нескольких пунктах дренажных линий послойно (2–3 образца) выборочно из зон, образованных гумусированным мелкоземом[1]. Такие определения дают наиболее полную информацию о том действительном значении $K_ф$ мелкозема пахотного горизонта, который был использован для заполнения траншеи или щели. Одновременно целесообразно определять $K_ф$ всего тела траншейной засыпки и влияние щелей и трещин, которые образуются между засыпкой и монолитной стенкой траншеи. Удобно для анализа $K_ф$ засыпки бестраншейного дренажа использовать вытянутые рамы размером 25×50 см (при работе на системах, выполненных МД-4) или 15×50 см (на системах, построенных МД-12), ведя послойные определения $K_ф$ по двум-трем глубинам. При этом последнее опробование производят не выше 8–10 см над дренажной трубой. $K_ф$ дренажной засыпки, построенной ЭТЦ-202 или другим дренукладчиком фрезерного типа, можно определять квадратной рамой 60×60 см, установленной так, чтобы оба контакта тела засыпки с монолитными стенками траншеи находились внутри учетной рамы.

Особое значение при мелиоративном проектировании приобретают сведения, отражающие изменения физических свойств почв в результате длительного действия осушительных систем, агромелиоративных и других мероприятий. Их получение на конкретном объекте изысканий часто оказывается невозможным. В таких случаях следует предусматривать изучение происходящих изменений на объектах-аналогах, т.е. там, где ранее были проведены аналогичные мелиоративные мероприятия на тождественных по генезису, гранулометрическому составу и степени заболоченности минеральных почвах и почвообразующих породах или на сопоставимых по ботаническому составу, степени разложения, зольности (в исходном состоянии) и причинам заболачивания органогенных почвах

[1] Работы по использованию гумусированного мелкозёма пахотного горизонта в качестве щелевых и траншейных фильтров допустимы только в случае одновременного внесения в пахотный горизонт органических удобрений в объемах, полностью компенсирующих расход гумуса на устройство таких фильтров.

и торфяных залежах. По этим признакам подбирают объекты-аналоги, на которых выполняют необходимые для проектирования изыскательские работы по изучению $K_ф$, плотности, влагоемкости, водоотдачи и других свойств почв.

3.16. Выбор метода определения $K_ф$ в зависимости от свойств почв и способов осушения. Повторность, точность и интерпретация опытных данных

Выбор метода определения $K_ф$ зависит от свойств почв и задач проектирования. Выше были рассмотрены некоторые рекомендации по этим вопросам.

При организации полевых и лабораторных изысканий необходимо руководствоваться следующим.

На однородных микроагрегированных суглинистых и глинистых почвах на покровных, моренных, озерно-ледниковых, пермских породах и на песчано-супесчаных почвах с элементарным гранулометрическим составом, приуроченных к моренным, древнеаллювиальным, флювиогляциальным отложениям используют инфильтрационные методы Н.А. Качинского (учетная рама — 0,5×0,5 м; защитная 1,0×1,0 м) или инфильтрометры Кировгипроводхоза (диаметр учетного кольца — 0,5 м; защитного — 1,0 м). Определение ведут с поверхности и на глубинах — 0,3; 0,6 м.

Инфильтрационные методы применяют в тех случаях, когда верховодка или грунтовые воды находятся ниже 2–3-метровой отметки площадки наблюдений или вообще отсутствуют во всем профиле.

При залегании грунтовых вод и верховодки непосредственно под пахотным горизонтом определения $K_ф$ производят методом восстановления уровня воды в скважине в слое 30–80 см. Расчет $K_ф$ — по формуле Г.Д. Эркина с поправками К.П. Лундина. При полном обводнении всего почвенного профиля с поверхности определения $K_ф$ производят в слое 30–80 см при обсадке пахотного горизонта трубой. При оценке $K_ф$ бесструктурных суглинистых и глинистых почв, а также почв с элементарным строением — супесчаных и песчаных, расчетными являются значения, установленные любым из этих двух методов.

В структурных анизотропных суглинистых и глинистых (например, в пойменных) почвах, а также в рыхленных бесструктурных

и слоистых почвах $K_ф$ определяют по восстановлению уровня воды в скважине Расчетными являются значения боковой фильтрации, установленные по методу восстановления воды в скважине.

При промежуточном залегании грунтовых вод и невозможности использовать как инфильтрационные методы, так и метод восстановления уровня воды в скважине, в однородных по составу почвах применяют метод режущих цилиндров Хануса.

При наличии отдельных водоупорных горизонтов в профиле почв, а также в дренажных траншеях, в зонах глубокого мелиоративного рыхления $K_ф$ определяют на небольших монолитах по методу Хануса. Образец суглинистых и глинистых почв в этом случае отбирают с помощью специальных стальных цилиндров при исходной влажности равной или выше предельной полевой влагоемкости. Это исключает изменение объема образца и порового пространства при выполнении определения $K_ф$.

В почвах с двучленным строением профиля (песчано-супесчаная толща на суглинисто-глинистой) производят послойный отбор проб для определения $K_ф$ по методу Хануса. $K_ф$ ненабухающих почв и пород может определяться с помощью режущих цилиндров Хануса на образцах, отобранных в поле при любой влажности.

В каждой точке $K_ф$ определяют инфильтрационными методами или методом восстановления уровня воды в скважине в тройной повторности. Повторность увеличивают, если отдельные определения резко отличаются по своим значениям. Определения $K_ф$ по методу Хануса выполняют в 5–6-кратной повторности для каждого слоя.

По каждому слою опробывания необходимо привести среднеарифметические значения $K_ф$ и диапазон изменений (max—min). Такие данные должны передаваться для проектирования. Недопустимо обобщение данных по $K_ф$ в виде арифметических средневзвешанных значений по всему профилю почв.

При коэффициентах фильтрации менее 0,1 м/сут. возможны отклонения в 2–4 раза от средних (например, 0,005 и 0,001 м/сут.); при значениях $K_ф$ 0,1–0,3 м/сут. — в 1,5–2,0 раза (например, 0,1 и 0,2 м/сут.); при $K_ф$ 0,3–1,0 м/сут. — на 25–40%.

При анализе значений водопроницаемости почв необходимо учитывать влияние следующих факторов:

1) изменение $K_ф$ в результате осушения;

2) влияние на $K_ф$ агромелиоративных мероприятий. Особенно мощным фактором, увеличивающим его абсолютные значения, является глубокое мелиоративное рыхление[1];
3) влияние на $K_ф$ агрономических факторов уплотнения осушенных почв в процессе их эксплуатации, возникновение водоупорных подпахотных горизонтов.

При оценке влияния дренажа особое значение приобретает тщательный анализ водопроницаемости отдельных слоев профиля, отличающихся гранулометрическим составом, степенью оглеения, интенсивностью цементации мелкозема оксидом железа, гуматами, карбонатами.

Необходимо подчеркнуть определенную изменчивость водопроницаемости во времени и цикличность различий $K_ф$ летом в сухой период, весной и осенью в состоянии, полного обводнения в одном и том же пункте. Важно иметь в виду в этом случае, что дренаж действует в состоянии полного обводнения

Следует также учитывать, что при одном и том же гранулометрическом составе, но при разной степени влияния этих факторов $K_ф$ могут существенно варьировать. Особое значение в настоящее время приобретают прогнозные данные, отражающие изменения водопроницаемости почв под влиянием ее уплотнения сельскохозяйственными орудиями, дренажа и агромелиоративных мероприятий. Все эти вопросы должны постоянно анализироваться изыскателем при изучении $K_ф$ на объектах осушения.

В заключение необходимо подчеркнуть большое значение создания банка данных по характеристике физических свойств и, особенно, $K_ф$ почв в зоне работ каждого проектно-изыскательского института. По этому признаку ($K_ф$) целесообразно районирование территории с тем, чтобы сократить объем трудоемких работ по изучению физических свойств почв. Районирование территории в этом случае следует выполнять по единству в каждом районе трех основных природных факторов, имеющих определяющее мелиоративное значение — почвы, почвообразующие породы, причины заболачивания и засоления.

[1] Подробнее о влиянии глубокого рыхления на $K_ф$ почв см. в книге: Эколого-гидрологические основы глубокого мелиоративного рыхления почв / Под ред. Ф.Р. Зайдельмана. М.: Изд-во МГУ, 1986.

Глава 4
Методы обоснования мелиоративных и агромелиоративных мероприятий

4.1. Осадка и всплывание торфяных почв при гидротехническом строительстве

Органогенные почвы при гидротехническом строительстве подвергаются интенсивной трансформации. Удаление воды в результате дренажа вызывает механическую осадку, уплотнение торфа, резкое уменьшение объема крупных пор и абсолютное уменьшение мощности органогенной толщи. С другой стороны при затоплении территории, например осушаемых почв в поймах рек или ложа водохранилищ, в определенных гидрологических, гидрогеологических и почвенных условиях торфяная залежь отрывается от минерального дна и всплывает. Нередко поля всплывшего торфа имеют значительную площадь (до 0,25–1,0 га и более), они существенно затрудняют использование осушаемых земель и акватории водохранилищ, а также работу ГЭС, ухудшают качество воды, транспортные, водоохранные условия, отрицательно влияют на рыбное хозяйство.

Осадку торфа и вероятность всплывания можно своевременно прогнозировать при мелиоративном (гидротехническом) проектировании.

4.1.1. Осадка торфяных почв после строительства дренажа

Прогноз сокращения мощности органогенной толщи сразу после завершения строительства дренажа имеет большое значение для расчета мелиоративных систем, приуроченных к торфяным почвам.

Механическая осадка торфа, обусловленная сбросом значительных масс воды за короткий отрезок времени, представляет по существу устранение «скелета почвы», на который она опирается в своем развитии на протяжении всей истории формирования болотного массива.

Механическая осадка торфяной залежи после осушения происходит быстро, но ее роль в дальнейшем сокращении мощности торфа невелика. Ее отличительной особенностью является практически полное сохранение абсолютной массы органического вещества. Затем после быстрой механической осадки наступает фаза активного биохимического разложения органического вещества торфа до простых окислов (CO_2, H_2O, NO_2, SO_3), эрозия и пожары, приводящие к быстрой потере торфа и, нередко, к его полному исчезновению. Поэтому сразу после осушения торфяного массива необходимо применять систему мероприятий (см. 4.5) по защите органогенных почв от деградации.

Биохимическое разложение и окисление в отличие от механической осадки действуют непрерывно, и их влияние на уменьшение мощности торфяной почвы зависит от зональных и провинциальных условий, способа осушения и характера сельскохозяйственного использования почв. Чем глубже уровни грунтовых вод, тем интенсивнее протекает процесс разложения торфа, тем благоприятнее условия для эрозии, пожаров и других негативных явлений на осушаемой территории.

На Севере и в северо-восточных районах страны темпы разложения торфа невелики, но в основных сельскохозяйственных районах Нечерноземной зоны они достигают 1–4 см в год. Наиболее активно протекает биохимическое разрушение торфяных почв в лесостепной зоне, южной тайге при их использовании в полевых и особенно пропашных севооборотах. Уменьшение темпов биохимического (и эрозионного) разложения и сработки торфяных почв может быть достигнуто путем сохранения на мелиорируемом массиве водного режима лугового типа и использования торфяных почв под сенокосы, лугопастбищные севообороты (при $T < 1{,}5$–2 м) или под травопольные севообороты (при $T > 2$ м) с последующим вовлечением торфяных почв (по мере сработки торфа) в луговые и лугопастбищные угодья. Поддержание режима лугового типа на дренированных торфяных почвах практически подразумевает создание такого режима грунтовых вод, при котором горизонты профиля постоянно находятся в зоне капиллярной каймы. Важнейшая задача этих мероприятий заключается в поддержании баланса углерода в осушаемых торфяных почвах.

Расчет механической осадки торфа, обусловленной сбросом гравитационной воды, может быть выполнен по формуле Г. Зегеберга [Segeberg, 1964]:

$$S = a\,(0{,}08\,T + 0{,}066), \qquad (34)$$

где S — осадка, м;

a — фактор естественной плотности торфа;

T — мощность торфа, м.

В табл. 4.1 приведены данные, отражающие зависимость между осадкой торфа, предварительным осушением, сложением и другими свойствами органогенных почв.

Таблица 4.1

Формулы расчета осадки торфяных почв по Зегебергу в зависимости от степени предварительного осушения, естественного сложения и объема их твердой фазы (Эггельсманн, 1984)

Оценка предварительного осушения (в натуре)	Сложение торфа	Объем твердой фазы, %	Фактор a в формуле (33)	Формула осадки
Нет	Почти плавающий	< 3	4,00	S = 0,32T + 0,26
Очень слабая	Рыхлый	3–5	2,80	S = 0,22T + 0,18
Слабая — средняя	Едва рыхлый	5–7,5	2,00	S = 0,16T + 0,13
Средняя — хорошая	Слабоплотный	7,5–12	1,4	S = 0,11T + 0,10
Интенсивная и длительная	Плотный	> 12	1,0	S = 0,08T + 0,07

Фактические значения осадки поверхности могут отклоняться на ± 25%. Осадку торфяной залежи определяют для глубины заложения дрен 1,1 м.

Для расчета осадки торфа может быть использована следующая номограмма (рис. 4.1). Полученные данные необходимы для определения увеличения глубины закладки дрен или каналов на болотах (Р. Эггельсманн, табл. 4.2).

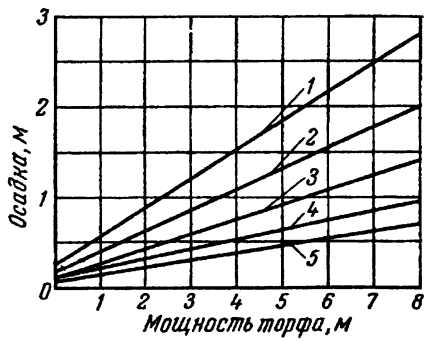


Рис. 4.1. **Номограмма эмпирической формулы осадки торфа (Х. Зегеберг, 1960).** ***Торф:*** ***1*** **— почти плавающий;** ***2*** **— рыхлый;** ***3*** **— достаточно рыхлый;** ***4*** **— достаточно плотный;** ***5*** **— плотный**

Таблица 4.2

Увеличение глубины закладки дрен или каналов на болотах в зависимости от последующего уплотнения торфяной толщи, % [Эггельсманн, 1984]

Относительная плотность слежавшегося торфа	Требуемая глубина дна после осадки торфа, м					
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
Плотный	10	12	14	16	18	20
Довольно плотный	15	17	20	23	25	28
Едва рыхлый	21	26	30	34	38	42
Рыхлый	31	38	45	51	58	65
Почти плавающий	Трубчатый дренаж не применяется					

4.1.2. Оценка возможности всплывания торфяных почв при затоплении по методу И.Д. Богдановской-Гиенэф, И.Н. Бирюковой и Е.Ф. Тарунииной

Всплывание торфяных почв и залежей обычно происходит при затоплении акватории водохранилищ в лесной зоне. Реже это явление наблюдается в поймах после осушения органогенных почв.

Это явление имеет опасные последствия, поскольку крупные блоки плавающего на поверхности акватории торфа резко ухудшают условия работы турбин гидроэлектростанций, судоходства, нарушают ведения рыбного хозяйства и др. Поэтому при изысканиях для гидротехнического строительства необходимо оценить возможность всплывания торфа при затоплении.

Наиболее активно торф всплывает в прибрежной мелководной зоне со слоем затопления до 3 м. В мелководной зоне всплывает торфяная залежь верхового, переходного и низинного типов, топяного, лесо-топяного и очень редко лесного подтипов.

В зоне средних глубин (3–7 м) всплывает залежь, имеющая сверху топяные слаборазложившиеся виды торфа (степень разложения до 20–25%) мощностью не менее 0,75 м или шейхцериевые торфа со средней степенью разложения [Бирюкова, Тарунина, 1967].

Такие торфа всплывают обычно летом, когда усиливается жизнедеятельность микроорганизмов, увеличивается выделение газов в толще затопленного торфа и уменьшается его плотность.

Толща всплывшего торфа выделяет в 2–3 раза больше газа, чем невсплывшая. Выделение газа увеличивается в 1,5–2 раза, если растительные остатки шейхцерии в торфе составляют 40% и более.

Хорошо разложившиеся торфа всплывают только в промерзшем состоянии. Промерзание снижает плотность торфа на 8–10% и происходит главным образом зимой при сработке водохранилищ. Во время весеннего подъема воды наличие неоттаявшего слоя может привести к отрыву и всплыванию всей толщи залежи или ее части.

Всплывание торфа начинается в первую очередь там, где сцепление торфа с минеральным дном болота ослаблено или отсутствует. Такие участки — очаги всплывания торфа — обычно встречаются в местах выклинивания грунтовых вод, выхода водных линз и жил, на контакте торфа и ила. Поднимаясь, они увлекают вверх всю массу торфа [Богдановская-Гиенэф, 1959]. Всплывание торфа нередко приводит к появлению на акватории водохранилищ огромных плавающих островов торфа. Мощность всплывшего торфа может быть различной — от 0,25 до 3,50 м. Чаще, однако, она равна 0,8–1,0 м.

В зависимости от интенсивности всплывания торфа на акватории затапливаемой территории может быть выделено четыре батиметрические зоны [Бирюкова, Тарунина, 1967]: первая (изобаты 0,5–3,0 м) — зона активного всплывания торфа: вторая (изобаты 3,0–5,0 м) — зона замедленного всплывания; третья (изобаты 5,0–7,0 м) — зона слабого всплывания; четвертая (> 7,0 м) — зона, в пределах которой всплывание торфа не происходит.

Удаление верхнего деятельного слоя торфяных почв мощностью 20 см в 1,5–2 раза уменьшает выделение газа в затопленном слое и угрозу всплывания.

4.2. Методы определения устойчивости кротовых дрен и кротовин в минеральных почвах

Кротовым дренажем называют гидротехническое сооружение, образованное длительно действующими земляными (кротовыми) дренами небольшого диаметра (обычно 6–8 см в минеральных и 10–20 см в торфяных почвах) и служащее для удаления избыточной гравитационной влаги за пределы осушаемой территории. Кротовые дрены имеют необходимый для этой цели уклон, их закладывают на глубине 0,6–0,8 м. Кротовый дренаж устраивают в таких суглинистых и глинистых почвах, где земляные дрены способны устойчиво сохранять стабильность в течение 3–4 лет и более.

Устойчивость и срок службы кротовых дрен определяются рядом факторов, из которых наиболее существенны следующие: генезис почв, их гранулометрический, макроагрегатный и минералогический состав и др. Важным свойством, определяющим устойчивость кротовых дрен, является также и влажность почвы в момент создания дренажа. Кротовый дренаж можно выполнить только в суглинистых и глинистых почвогрунтах. В сыпучих почвах (песках, слабогумусированных супесях) кротовые дрены быстро разрушаются. Вместе с тем в переувлажненных суглинистых и глинистых почвах при значительной влажности кротовые дрены могут заплывать даже в тех случаях, когда другие свойства почв благоприятны для их устройства. Поэтому кротовый дренаж рекомендуют закладывать, как правило, в суглинистых и глинистых почвах при влажности, лежащей в интервале пластичности (от нижней границы скатывания до нижней границы текучести). Эти случаи здесь и рассматриваются.

Кротование — агромелиоративный прием, направленный на перераспределение избыточной влаги из поверхностных во внутрипочвенные слои профиля почв и их аэрацию. Кротование выполняют в суглинистых и глинистых почвах и в тех случаях, когда кротовины не обладают длительной устойчивостью. Земляную полость в этом случае устраивают ежегодно или один раз в 2–3 года (в зависимости от устойчивости), часто одновременно с пахотой, причем кротовина, как правило, копирует уклон поверхности земли.

Кротовины (земляные полости) обычно закладывают на глубину 0,4–0,6 м. Они способствуют перераспределению избыточной влаги из поверхностных горизонтов в глубь почвенного профиля, его аэрации, усилению трещиноватости почв, повышению приточности воды к дренам. Большое значение в этом случае имеет миграция влаги по вертикальной щели, остающейся в почве при проходе стойки кротователя. Кротование эффективно и в таких почвах, где земляные дрены неустойчивы. Оно повышает их водопроницаемость, увеличивает объем дренажного стока (на глинистых почвах в первый год эксплуатации в 1,5–2,0 раза) и урожайность сельскохозяйственных культур на 5–15% и более.

Существует несколько методов определения устойчивости кротовых дрен в минеральных почвах (Баден, Эггельсманн, 1961).

В практике мелиорации почв широкое применение в 30–50 годы 20 века получили два метода, предложенные в разные годы Г. Янертом (1932) и С.В. Астаповым (1937).

4.2.1. Определение устойчивости кротовых дрен по методу Г. Янерта

Г. Янертом [Janert, 1932] было показано, что при степени дисперсности почвы (степень дисперсности — СД), определенной по отношению:

$$СД = \frac{\Sigma \text{ фракций} < 0{,}02 \text{ мм (по методу Копецкого)}, \%}{\text{теплота смачивания, ккал} \,/\, \text{г}}, \qquad (35)$$

При СД менее 6,4 и теплоте смачивания не ниже 4 кал/г кротовые дрены длительно сохраняют устойчивость. Дрены неустойчивы в почвах, степень дисперсности которых более 10,5, а теплота смачивания — менее 2,0 ккал/г.

Промежуточные значения занимают почвы, степень дисперности которых находится в интервале 6,4 ÷ 10,5, а теплота смачивания равна 2–4 ккал/г.

4.2.2. Определение устойчивости кротовых дрен по методу С.В. Астапова

С.В. Астапов (1937) установил, что отношение ρ суммы частиц 0,05–0,005 мм, определенных по микроагрегатному методу Павлова, к сумме тех же фракций, определенных гранулометрическим анализом по методу Н.А. Качинского, может быть использовано для прогноза устойчивости кротовых дрен в почве. По С.В. Астапову ρ — показатель стабильности кротовых дрен в минеральных почвах,

$$\rho = \frac{0{,}05 - 0{,}005 \text{мм по методу Павлова}}{0{,}05 - 0{,}005 \text{мм по методу Качинского}} \qquad (36)$$

При $\rho < 0{,}3$ почвы, безусловно, пригодны для кротового дренажа. Дрены недостаточно устойчивы при $\rho = 0{,}3–0{,}7$, а при $\rho > 0{,}7$ почвы непригодны для строительства кротового дренажа. При этом наиболее четкие показатели были получены для почв, имевших $\rho < 0{,}3$; все дрены, заложенные в них, были в хорошем состоянии и длительно действовали, не изменяя своего первоначального диаметра. Дрены, заложенные в почвах при $\rho > 0{,}7$, обычно быстро выходили из строя.

4.2.3. Определение устойчивости кротовых дрен по методу Ф.Р. Зайдельмана[1]

При проведении почвенно-мелиоративных изысканий для обоснования проектов мелиорации рекомендован метод Ф.Р. Зайдельмана (1960), поскольку он позволяет не только оценить в общем виде устойчивость кротовых дрен, но и прогнозировать срок их стабильного существования в исследуемых почвах.

Метод не требует выполнения сложных и дорогостоящих анализов (гранулометрического состава почв, теплоты смачивания и др.), предполагающих наличие специального оборудования и подготовленных аналитиков. Он может быть использован не только в лабораторных, но и в полевых условиях. Метода основан на эмпирически установленной взаимосвязи между водопрочностью агрегатов размером 3–5 мм и сроком действия кротовых дрен. Чем выше водопрочность этой фракции, тем выше стабильность кротовых дрен в минеральных почвах. Таким образом, быстрый (экспресс) метод полевого и лабораторного определения устойчивости кротовых дрен основан на том, что интенсивность размокания в воде почвенных агрегатов является интегрирующим показателем, позволяющим учитывать действие основных факторов, по которым рассчитывают срок службы кротовых дрен.

Для определения устойчивости и срока действия земляной (кротовой) дрены образец почвы массой 300–400 г высушивают до воздушно-сухого состояния (недопустима сушка в термостатах, печах, на солнце — при температуре более 40–45 С) и пропускают через сито с диаметром отверстий 5 мм на сито с диаметром отверстий 3 мм. Навеску агрегатов размером 3–5 мм и массой 20 г помещают в цилиндрическую металлическую коробку высотой 20 мм, дно и съемная крышка которой затянуты сеткой. Диаметр ячеек плетеной сетки равен 0,5 мм. К обручу коробки присоединяют съемную рукоятку (рис. 4.2). Далее сетчатую коробку с образцом помещают в сосуд с водой (высота столба воды в сосуде 140 мм) и оставляют в покое на 10 минут для промачивания агрегатов.

После этого образец в коробке подвергают 50-кратной проводке в сосуде (одна проводка — опускание и подъем навески). Продолжи-

[1] Авторское свидетельство № 127440 от 4 апреля 1960 г. выдано Ф.Р. Зайдельману на изобретение «Способ и прибор для определения устойчивости кротовых дрен в минеральных почвах» (приоритет от 23.12.1958)

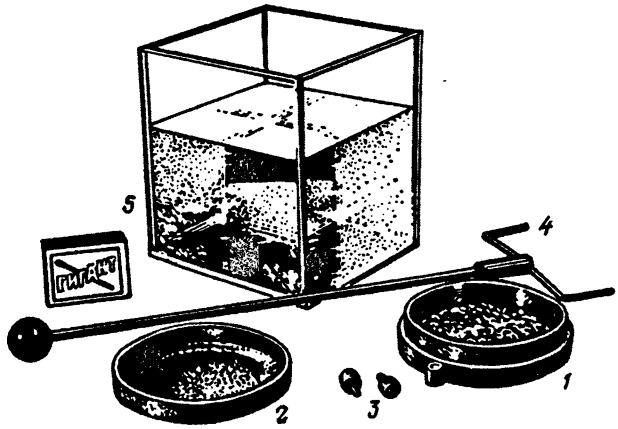


Рис. 4.2. **Прибор Ф.Р. Зайдельмана для определения устойчивости кротовых дрен в почвах по интенсивности размокания воздушно-сухих агрегатов (в разобранном виде): 1 — сетчатая коробка; 2 — сетчатая крышка коробки; *3* — зажимы рукоятки; *4* — рукоятка; *5* — сосуд для просеивания в воде**

тельность каждой проводки 1,5–2,0 с в течение 1,5–2,0 мин. Затем коробку извлекают из воды и отделяют от держателя. Остаток образца после водного просеивания переносят на фильтр, высушивают до воздушно-сухого состояния и взвешивают. По сохранившемуся остатку судят об устойчивости кротовых дрен (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Определение устойчивости и срока службы кротовых дрен по массе воздушно-сухих агрегатов после просеивания в воде[1]

Характеристика работы кротовых дрен	Дрены хорошо действуют в течение 3–4 лет и более	Дрены хорошо действуют в течение 2–3, в отдельных случаях не более 1–2 лет	Дрены недостаточно устойчивы. Срок действия 3–4 месяца — 1 год	Дрены совершенно неустойчивы и заплывают спустя 2–3 месяца после их устройства
Остаток после просеивания, г	10–20	4–10	1–4	до 1
Морфологическая характеристика	Хорошо сохранившиеся крупные агрегаты	Крупные и мелкие	Мелкие (1 мм) агрегаты	Мелкие агрегаты, ортштейны

[1] При определении массы остатка после просеивания в воде учитывают только массу суглинистых или глинистых агрегатов. В расчет не принимают массу ортштейнов, камней, кварцевых зерен и др.

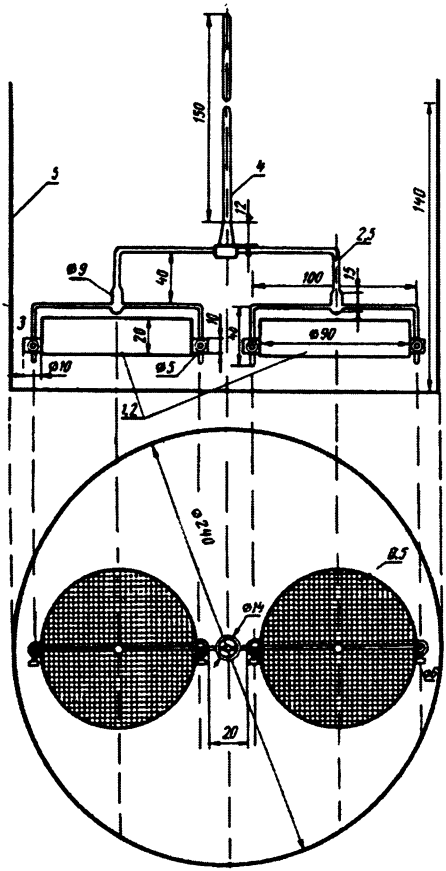


Рис. 4.3. **Прибор для определения устойчивости кротовых дрен в минеральных почвах по интенсивности размокания воздушно-сухих агрегатов, обеспечивающий одновременное исследование двух образцов**

Прибор для определения устойчивости кротовых дрен может быть снабжен одной или двумя (для массовых анализов) коробками для размещения образца. В последнем случае на приборе одновременно анализируют два образца (рис. 4.3). Этот метод позволяет установить не только качественный характер устойчивости кротовых дрен в минеральных почвах (устойчивы, неустойчивы, слабоустойчивы), но и связать полученные результаты со сроком службы дрен.

Кротовый дренаж может быть рекомендован в тех случаях, когда масса остатка на сите после просеивания равна 10–20 г. При массе остатка менее 1 г и от 1 до 4 г почвы непригодны для устройства кротового дренажа. Он рекомендован в ряде случаев на почвах, имеющих массу остатка после просеивания в воде 4–10 г, когда они занимают подчиненные площади среди почв первой группы.

4.2.4. Целесообразность применения кротового дренажа и кротования в почвах различного генезиса

Кротовый дренаж и кротование применяют только в связных суглинистых и глинистых почвах. Поскольку это состояние определяют условия формирования почв, обычно удается проследить тесную связь между их генезисом и целесообразность применения кротового дренажа и кротования. Так, низкая водопрочность агрега-

тов в заболоченных подзолистых, дерново-подзолистых и в различных оподзоленных почвах обусловливает причины почти полной неустойчивости в этих почвах кротовых дрен. Напротив, в хорошо агрегированных почвах (например, в пойменных дерновых зернистых, некоторых луговых, иногда в дерново-карбонатных и др.) кротовые дрены могут длительно сохранять стабильность. Поэтому в пределах зоны избыточного увлажнения исследование устойчивости кротовых дрен в пойменных и других хорошо агрегированных почвах особенно перспективно. При выполнении почвенно-мелиоративных изысканий целесообразно предусмотреть составление картограмм устойчивости кротовых дрен. С этой целью необходим массовый отбор образцов для определения устойчивости кротовых дрен из расчетов одна точка на 1–2 га. Отбор образцов проводят по сетке с учетом генетических границ почв. В каждой точке предусматривают отбор двух образцов — с глубины 35–45 см. и 65–75 см. Фактические данные выносят на картограмму. Участки почв с одинаковой устойчивостью кротовых дрен показывают на картограмме отдельными контурами. Напротив, в подзолистых почвах кротовые дрены заведомо неустойчивы (рис. 4.4). Поэтому анализировать такие минеральные почвы на устойчивость кротовых дрен нецелесообразно. Для

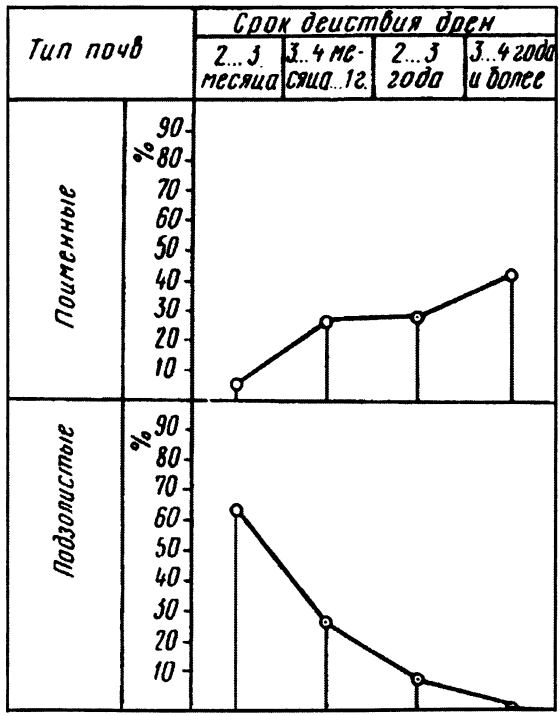


Рис. 4.4. **Устойчивость кротовых дрен в тяжелых почвах, заболоченных намывными русловыми (пойменные почвы) и намывными склоновыми водами (подзолистые почвы)**

решения этого вопроса достаточно точным является морфогенетический анализ почвенного профиля в полевых условиях. В целом же аналитическое определение устойчивости кротовин в минеральных почвах необходимо, поскольку в проекте должны быть предусмотрены сроки повторного кротования почв.

Применение кротования целесообразно при близком залегании к поверхности плотных, плохо водопроницаемых горизонтов, например, в почвах с элювиально-иллювиальной дифференциацией профиля — болотно-подзолистых, а также в тяжелых оподзоленных дерново-глеевых, дерново-карбонатных и иных почвах с плотными подпахотными горизонтами. В таких почвах кротование в первый год оказывает весьма благоприятное влияние на дренажный сток, урожайность сельскохозяйственных культур, их физические свойства — фильтрацию, аэрацию, пористость. Однако, в тяжелых агрегированных почвах — пойменных, луговых и др. — с хорошо водопроницаемыми подпахотными горизонтами ($К_ф \geq 0{,}3$ м/сут.) кротование нередко не оказывает благоприятного влияния на сток, урожайность и свойства почвы. В этих условиях применение кротования оказывается нецелесообразным.

Устойчивость кротовых дрен в органогенных почвах зависит от степени разложения торфа. При разложении 30% кротовые дрены вполне устойчивы, при 30–50% — малоустойчивы и устойчивы, более 50% — неустойчивы.

При строительстве кротовых дрен в минеральных почвах применяют сравнительно небольшие междренные расстояния 1,5–2 м, реже 4 м. В торфяных почвах междренные расстояния тесно связаны со степенью разложения торфа: чем меньше степень разложения (по Посту), тем больше междренные расстояния при строительстве



Рис. 4.5. **Расстояние между кротовыми дренами в торфяных почвах в зависимости от степени разложения торфа (по Эггельсманну, 1984)**

кротовых дрен в торфяных почвах (рис. 4.5).

Таким образом, кротовый дренаж, т.е. гидротехническое сооружение, состоящее из земляных дрен-осушителей с заданным уклоном, проектируют и строят в тех случаях, когда кротовины стабильны в течение 3–4 и более лет (в Нечерноземной зоне — это преимущественно агрегированные пойменные почвы).

Кротование как агромелиоративное мероприятие, применяют на суглинистых и глинистых почвах, если кротовины стабильны в течение 3–4 месяцев и более. Поэтому кротование в отличие от кротового дренажа целесообразно широко применять на подзолистых, болотно-подзолистых и оподзоленных почвах на моренных, покровных, пермских, пойменных, озерно-ледниковых (кроме ленточных) суглинках и глинах при стабильности кротовин более 3–4 месяцев.

Если высокая стабильность кротовин сочетается с высокой водопроницаемостью заболоченных почв (0,3–0,5 м/сутки и более), то в этом случае кротование, в отличие от кротового дренажа, не выполняют.

Кроме того, кротование нецелесообразно на кислых почвах, сформированных на тонкослоистых ленточных глинах, из-за низкой устойчивости кротовин (1–2 месяца и менее).

Кротование является всегда весьма полезным одноразовым мероприятием для предварительной подсушки почв на стадии капитального строительства (например, перед выполнением работ по глубокому мелиоративному рыхлению) независимо от срока стабильности кротовин.

4.3. Методические особенности глубокого мелиоративного рыхления почв

Глубокое мелиоративное рыхление почв — относительно новый агромелиоративный способ оптимизации неблагоприятных физических свойств почв. Этот способ ускорения внутрипочвенного стока в зависимости от генезиса почв и пород, степени заболоченности, вида рыхлителя и ряда других причин не всегда приводит к однозначным положительным результатам. Поэтому он нуждается во всесторонней и тщательной оценке методики его реализации.

Вместе с тем в определенных условиях глубокое рыхление оказывает весьма положительное влияние на свойства, режимы почв и урожай сельскохозяйственных культур.

Рассмотренные ниже сведения, отражающие методические особенности глубокого мелиоративного рыхления почв, изложены на основе многолетних исследований различных технологий и эффективности этого способа агромелиорации в условиях почвенно-мелиоративного географического опыта, приуроченного в Нечерноземной зоне к почвам различной степени заболоченности на пермских, ленточных, моренных и покровных суглинках и глинах.

Эти исследования были выполнены соответственно в Кировской, Новгородской, Вологодской и Московской областях факультетом почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова совместно с проектно-изыскательскими институтами Главнечерноземводстроя — Киров — Новгород — Вологда — и Мосгипроводхозами в 1975–1986 гг. под руководством профессора Ф.Р. Зайдельмана. В этом многолетнем эколого-мелиоративном эксперименте принимали участие В.А. Замыцкий, М.Е. Гинзбург, В.А. Плавинский, А.А. Жиров, А.В. Белый, Э.Э. Бабышко и другие. Материалы исследований, опубликованы этим коллективом в монографии «Эколого-гидрологические основы глубокого мелиоративного рыхления почв» при участии и под редакцией автора в 1986 г.

4.3.1. Минеральные почвы Нечерноземной зоны как объект глубокого рыхления

Глубокое мелиоративное рыхление улучшает агрегатный состав и водопроницаемость суглинистых и глинистых почв в верхнем слое мощностью не менее 0,6 м и разрушает в легких (песчаных, супесчаных) почвах плотные водоупорные железистые или карбонатные прослойки в толще до 0,9 м. Это агромелиоративное мероприятие выполняют на тяжелых суглинистых и глинистых почвах, коэффициент фильтрации подпахотных горизонтов которых в естественном состоянии в слое 30–80 см менее 0,3 м/сут. [Зайдельман, 1979].

На тяжелых кислых почвах формирование мощного структурного слоя осуществляют с помощью трех мероприятий: механического рыхления; химической стабилизации и коагуляции глинистых частиц путем интенсивного известкования; биологического агрегирования почвы в результате поступления в нижние слои профиля значительной массы свежего перегноя от корней и извести на фоне резкого по-

вышения плодородия почв в результате внесения минеральных и органических удобрений.

На тяжелых карбонатных почвах процесс образования структуры складывается из механического рыхления и биологического агрегирования. Химическое оструктуривание путем внесения извести на этих почвах нецелесообразно вообще или ограничено самыми поверхностными выщелоченными слоями.

Механическое рыхление легких почв с целью разрушения плотных сцементированных гидроокисных железистых или карбонатных горизонтов проводят всегда независимо от известкования и удобрения почв.

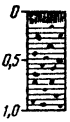
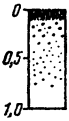
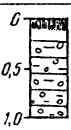
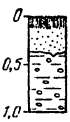
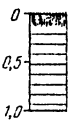
При оценке почв Нечерноземной зоны как объекта глубокого рыхления следует руководствоваться табл. 4.4[1]. Глубокое рыхление заболоченных почв без дренажа ухудшает условия сельскохозяйственного производства и обычно снижает урожай. Кроме того, при проектировании мелиоративных мероприятий необходимо учитывать, что сплошное глубокое мелиоративное рыхление тяжелых заболоченных подзолов и подзолистых почв с мощными элювиальными горизонтами ($A_2 > 10$ см) выполняют при обязательном внесении крупных доз извести (18–25 т/га), органических (не менее 40–50 т/га) и минеральных удобрений.

Если по организационным причинам невозможно выполнить эти мероприятия, а применение глубокого рыхления может вызвать снижение плодородия этих почв в результате перемещения к дневной поверхности и поступления в пахотный слой кислого неплодородного мелкозема подзолистого горизонта (А2), целесообразно на стадии строительства применять не сплошное, а полосное рыхление (через 4 м) или кротование (через 2 м) с последующим переходом в эксплуатационный период по мере окультуривания почв на сплошное глубокое мелиоративное рыхление.

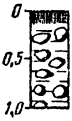
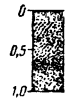
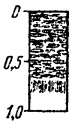
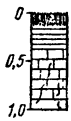
[1] Технология глубокого мелиоративного рыхления здесь излагается по материалам «Рекомендаций по изысканиям, проектированию, выполнению строительных и эксплуатационных работ по глубокому мелиоративному рыхлению и кротованию почв Нечерноземной зоны РСФСР», одобренном утвержденном в качестве регионального методического пособия Главнечернозёммелиоводхозом Госагропрома Нечерноземной зоны РСФСР 6 июня 1989 г. (протокол НТС № 8). Введены в действие с 10 ноября 1989 г. Автор «Рекомендаций...» — Ф.Р. Зайдельман.

Таблица 4.4

Литологическое строение минеральных почв Нечерноземной зоны и их оценка как объекта глубокого мелиоративного рыхления

Индекс	Литологический профиль почвы	Генетическая характеристика почв и пород, их свойства
1	2	3
А. Карбонатные почвы на элюво-делювии осадочных плотных, мелкокаменистых моренных и аллювиальных породах. Глубокое рыхление возможно без значительных затрат на окультуривание почв		
А.1		Дерновые насыщенные и карбонатные глееватые и глеевые почвы на плотных пермских тяжелых суглинках и глинах. Близко подстилаются (1–2 м) пермскими красноцветными или пестроцветными сланцами, алевралитами, известняками. Поверхностные горизонты часто оструктурены
А.2		Дерновые карбонатные почвы разной степени заболоченности на мелкокаменистой карбонатной суглинистой морене. Пригодны для сплошного глубокого рыхления при отсутствии в толще до 80 см камней крупнее 30–40 см
А.3		Пойменные дерново-глеевые, иловато-глеевые, глеевые слитые почвы на тяжелосуглинистом и глинистом аллювии. Кф ≤ 0,2–0,4 м/сут
Б. Кислые почвы на бескарбонатных моренных, покровных, флювиогляциальных и древнеаллювиальных отложениях		
а) Глубокое рыхление целесообразно при внесении крупных доз извести, интенсивном окультуривании оподзоленных почв и биологической стабилизации структуры суглинистых и глинистых почв		
Б.1		Подзолистые, дерново-подзолистые и болотно-подзолистые почвы на кислой мелкокаменистой суглинистой и глинистой морене. Пригодны для сплошного глубокого рыхления при отсутствии в толще до 80 см камней крупнее 30–40 см
Б.2		Подзолистые, дерново-подзолистые, болотно-подзолистые почвы на мелкокаменистой кислой или карбонатной морене, перекрытой маломощным слоем (30–40 см) легкой флювиогляциальной или древнеаллювиальной супеси (реже песка) Пригодны для сплошного глубокого рыхления при отсутствии в толще до 80 см камней крупнее 30–40 см
Б.3		Подзолистые, дерново-подзолистые, серые лесные оглеенные, болотно-подзолистые почвы на крупнопылеватых кислых покровных лессовидных суглинках и глинах

Продолжение таблицы 4.4

1	2	3
б) Глубокое рыхление возможно без специальных мероприятий по оструктуриванию рыхленной толщи		
Б.4		Подзолистые, дерново-подзолистые, болотно-подзолистые оруденелые почвы; почвы с ортзандовыми горизонтами, преимущественно на легких флювиогляциальных и древнеаллювиальных песках и супесях. Мощность зоны железистой цементации не превышает 20–30 см
В. Почвы, глубокое мелиоративное рыхление которых нецелесообразно или невозможно		
В.1		Почвы различного генезиса и гранулометрического состава преимущественно на моренных (реже пролювиальных) крупнокаменистых отложениях, содержащих в верхней толще мощностью 0,5–0,8 м камни и валуны крупнее 30–40 см
В.2		Пойменные дерновые зернистые суглинистые и глинистые неоглеенные и оглеенные хорошо агрегированные и водопроницаемые почвы. Кф ≥ 0,4 м/сут.
В.3, 4		Бурые, дерново-подзолистые, подзолистые, болотно-подзолистые почвы песчаного или супесчаного гранулометрического состава по всему профилю или подстилаемые суглинистыми и глинистыми горизонтами глубже 0,6 м. В профиле таких почв могут встречаться тонкие (до 3 см) зоны железистой цементации — псевдофибры
В.5		Почвы с мощными (0,4–0,6 м) поверхностными рудяковыми или карбонатными горизонтами на супесчаных или суглинистых отложениях обычно в зонах выклинивания сильно ожелезненных или жестких грунтовых вод. В результате рыхления формируются почвы с избыточной концентрацией железа или извести в корнеобитаемых горизонтах
В.6		Почвы различного генезиса и гранулометрического состава, близко (с 0,2–0,5 м) подстилаемые плотными изверженными или метаморфическими породами

Условные обозначения: — покровные кислые суглинки и глины; — мелкокаменистая кислая суглинистая и глинистая морена; — мелкокаменистая карбонатная суглинистая и глинистая морена; — крупнокаменистая морена; — пермские тяжелые суглинки и глины; — флювиогляциальные или древнеаллювиальные пески и супеси; — аллювиальные суглинистые и глинистые отложения; — пермские красноцветные или пестроцветные сланцы, алевролиты, известняки; — плотные изверженные или метаморфические породы; — зоны железистой или карбонатной аккумуляции.

Сплошное глубокое рыхление каменистых почв рыхлителями активного и пассивного действия не проводят при наличии камней в слое рыхления мощностью 0–80 см диаметром (максимальным) соответственно более 30 и 40 см; при наличии в этом слое камней и валунов более 60 см полосное рыхление РК-1,2 не предусматривают.

4.3.2. Условия проектирования и выполнения глубокого мелиоративного рыхления почв

Важнейшим условием эффективного глубокого рыхления является тщательная разделка пласта или задернованной поверхности почв. Подготовку поверхности и проведение глубокого рыхления осушенных тяжелых почв осуществляют согласно рекомендациям, приведенным в табл. 4.5.

При севе после рыхления необходим тщательный контроль глубины движения сошников сеялки. Разрыв во времени между глубоким рыхлением, севом и биологическим закреплением структуры корнями растений должен быть минимальным.

Повышенные дозы удобрений, принятые для данных почв и культур, связаны с механическим перемещением гранул удобрений в нижние горизонты профиля в процессе рыхления. Целесообразно проводить сев культур в год выполнения глубокого рыхления.

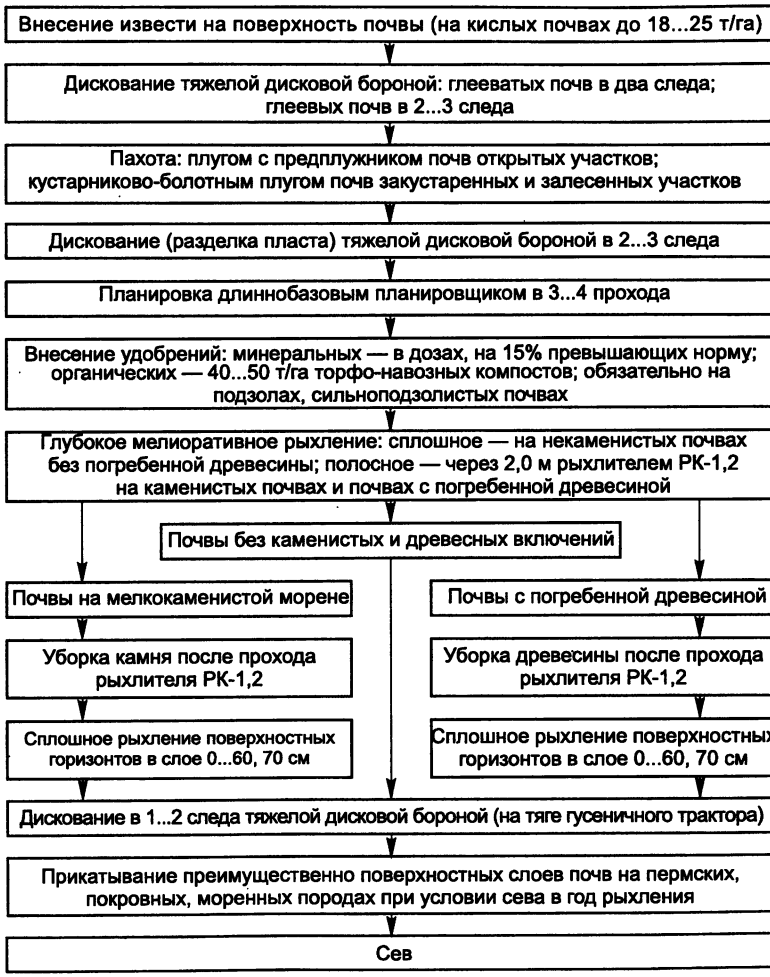
Сплошное глубокое мелиоративное рыхление тяжелых почв проводят после прекращения дренажного стока при влажности верхней (60 см) толщи, равной или меньшей их предельной полевой влагоемкости, когда почвы приобретают способность к крошению. При промерзании почвы на глубину более 5 см с поверхности или при наличии в толще почв, подлежащей рыхлению (0–70 см), мерзлых горизонтов глубокое мелиоративное рыхление не выполняют.

Механическое рыхление легких почв с целью разрушения плотных сцементированных гидроокисью железа или карбонатами горизонтов после завершения строительства дренажа в теплый период года проводят независимо от влажности почв.

Для ускорения просыхания глеевых почв после дренирования на объектах осушения нами [Зайдельман и др., 1978] предложен следующий способ. После строительства дренажа минимум за 3–4 недели до начала работ по глубокому рыхлению следует провести сплошное кротование на глубину 45–60 см. Кротование тяжелых почв

Таблица 4.5

Мероприятия по подготовке поверхности тяжелых почв к глубокому сплошному мелиоративному рыхлению и севу после завершения культуртехнических работ и строительства дренажа



способствует быстрому сбросу гравитационной влаги и подсыханию сырых дренированных почв в теплый период.

В последние десятилетия разработана серия рыхлителей различного назначения — РУ.65.2,5 — рыхлитель универсальный (глубина рыхления 0,65; захват — 2,5 м) двух- или трехстоечный (рис. 4.6). Рыхлитель способен осуществлять одновременно глубокое рыхление и кротование; РК-1,2 — рыхлитель-кротователь одностоечный. Осуществляет одновременно рыхление до 120 см и кротование минеральных и торфяных почв. Все отечественные рыхлители пассивного действия, т.е. они имеют неподвижный лемех.

Зарубежные рыхлители нередко изготавливают с активным лемехом, который в процессе рыхления с частотой 30–40 колебаний в минуту поднимается и опускается с амплитудой 12–14 см. Колебания осуществляются по отношению к оси лемеха, которая закреплена на неподвижной стойке рабочего органа. В результате активные рыхлители производят не только рыхление, но и встряхивание почвы в толще 0–80 или 0–100 см. Наиболее эффективным в настоящее время является рыхлитель TLG-12 активного действия немецкой фирмы «Кэбле-Гмайндер».

Существуют две технологии глубокого рыхления — сплошное и по полосам. При сплошном рыхлении почва обрабатывается двух- и трехкорпусными рыхлителями. При этом происходит непрерывное

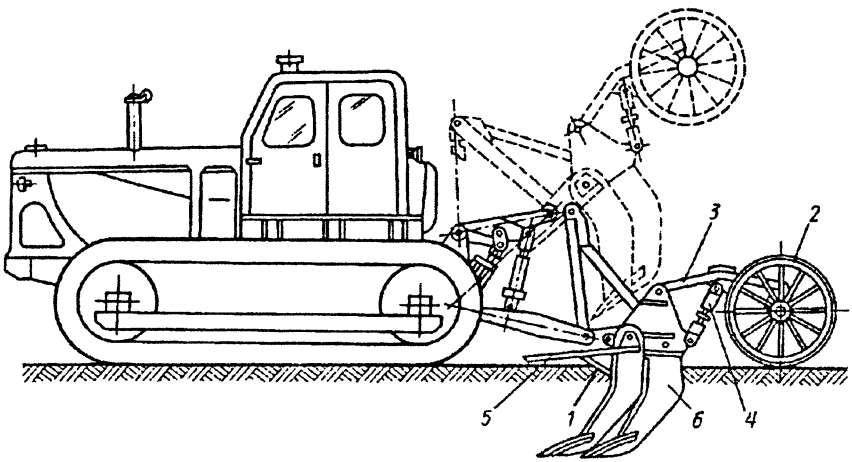


Рис. 4.6. **Рыхлитель-кротователь универсальный РУ.65.2,5. Рыхлитель пассивного действия**

равномерное разрыхление почвенного покрова. Сплошное рыхление предназначено для улучшения физических свойств и плодородия почв, их гидрологического режима. В этом случае на фоне высокой культуры земледелия возможно стабильное повышение продуктивности культур полевых севооборотов на 10–30%, улучшение условий работы сельскохозяйственной техники и дренажа.

При рыхлении по полосам используют обычно однокорпусные рыхлители (например, РК-1,2). Полосы рыхления перпендикулярно к линиям дрен создают при однократном проходе рыхлителя через каждые 6–9 м. Рыхление по полосам не оказывает заметного влияния на урожай, практически не изменяет плодородия почв и не улучшает их физические свойства. Его основное назначение заключается в увеличении объема дренажного стока на 25–30% и повышении эффективности дренажа.

Глубокое мелиоративное рыхление следует осуществлять после пахоты (на целине — разделки дернины фрезой), внесения извести, минеральных и органических удобрений.

В результате интенсивного использования почв после сплошного глубокого (80–100 см) рыхления в подпахотном слое обычно на глубине 25–40 см формируется вторичный уплотненный водоупорный горизонт. Она определяется свойствами почв, сельскохозяйственной техникой и транспортными средствами, производящими значительное давление. Через 3–5 лет после использования почв в полевых севооборотах обычно формируется такой водоупорный горизонт. Вместе с тем под уплотненным слоем сохраняется ранее разрыхленный горизонт почвенного профиля с повышенной водопроницаемостью. Очевидно, для восстановления гидравлической связи пахотного горизонта с дренажом уплотненный слой необходимо разрушить с помощью рыхления. Но поскольку ниже этого уплотненного слоя залегает хорошо проницаемый горизонт, нет необходимости вновь применять глубокое мелиоративное рыхление. Здесь при повторном рыхлении вполне достаточными мероприятиями окажутся чизелевание, кротование или поверхностное (т.е. до глубины 40–45 см) рыхление (рис. 4.7).

При проведении работ по глубокому мелиоративному рыхлению необходимо иметь в виду и ряд существенных условий, лимитирующих целесообразность применения глубокого рыхления. Так, глубокое мелиоративное рыхление оглеенных почв **без дренажа** ухудшает

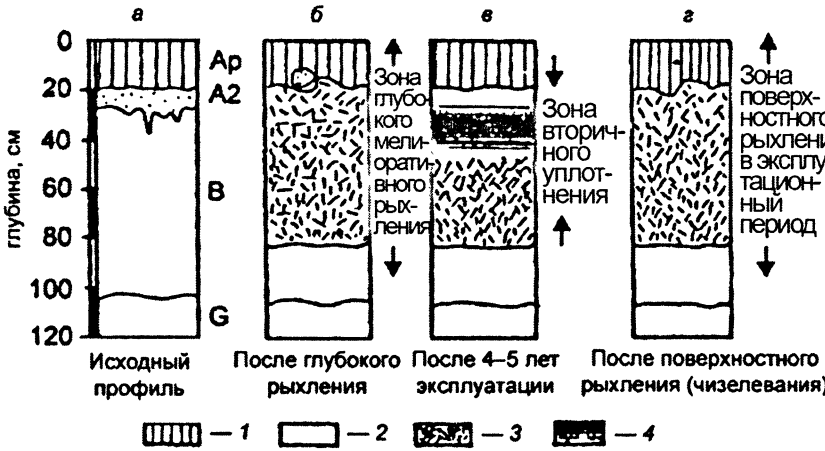


Рис. 4.7. **Изменение сложения тяжелых почв после глубокого мелиоративного рыхления (0,8–1,0 м), уплотнения и разуплотнения после повторного рыхления (0,40–0,45 м): *а* — исходный профиль; *б* — после глубокого мелиоративного рыхления; *в* — после 4–5 лет эксплуатации; *г* — после поверхностного рыхления (чизелевания); *1* — пахотный горизонт; *2* — горизонты с естественной плотностью; *3* — горизонты повышенной водопроницаемости после рыхления; *4* — вторичный плотный водоупорный горизонт, возникший после глубокого рыхления**

условия сельскохозяйственного производства и обычно снижает урожай. При этом в нижних слоях профиля может длительно застаиваться гравитационная влага, которая провоцирует глееобразование. Последнее приводит к дезагрегированию почв, снижению их водопроницаемости (на порядок), резкому ухудшению свойств.

При проектировании мелиоративных мероприятий следует учитывать, что сплошное глубокое мелиоративное рыхление тяжелых заболоченных подзолистых почв и подзолов с мощными горизонтами А2 (более 10 см) выполняют при условии обязательного внесения крупных доз извести (до 18 т/га), органических и минеральных удобрений. Если применение удобрений и извести невозможно к началу работы по глубокому рыхлению, то следует отказаться на этом этапе от их выполнения, поскольку механическое разрыхление будет сопровождаться деградацией почвенного покрова (табл. 4.6).

Таблица 4.6

Условия, лимитирующие применение глубокого мелиоративного рыхления почв

Условие	Почвы	Решение
Отсутствует возможность интенсивного известкования и удобрения почв на глубину рыхления	Кислые подзолистые, дерново-сильноподзолистые почвы, подзолы на покровных, моренных, озерно-ледниковых отложениях	Замена глубокого сплошного рыхления кротованием
Быстрое восстановление исходных неблагоприятных физических свойств после рыхления, высокая энергоемкость процесса рыхления	Кислые или нейтральные глеевые почвы на тонкослоистых ленточных глинах	Замена глубокого рыхления (кротования) мероприятиями по ускорению и организации поверхностного стока
Поздневесенняя-раннелетняя засуха в условиях континентального климата Предуралья, снижение урожая на рыхленных слабозаболоченных дренированных почвах в результате иссушения поверхностных горизонтов в начале вегетации	Дерново-глееватые оподзоленные почвы на элювии пермских отложений в комплексе с сильнозаболоченными почвами	Отказ от глубокого рыхления слабозаболоченных дерново-глееватых оподзоленных почв. Глубокое рыхление только сильнозаболоченных (глеевых) почв
Аккумуляции поверхностного стока в горизонтах почвенного профиля, резкое ухудшение гидрологических условий, интенсивное вторичное заболачивание в результате рыхления недренированных оглеенных почв	Глееватые и глеевые почвы различных генетических типов	Дренаж и последующее рыхление
Высокая каменистость почв	Почвы разной степени заболоченности и различного генезиса на моренных отложениях	Замена сплошного рыхления на рыхление по полосам при наличии камня диаметром 30–40 см, объемом менее 50 м^3/га. При большой каменистости отказ от глубокого рыхления
Систематическая обработка влажных почв сельскохозяйственными машинами с высоким удельным давлением на почву	Почвы разной степени заболоченности на суглинистых и глинистых породах разного генезиса	Отказ от глубокого рыхления Кротование

Продолжение таблицы 4.6

Условие	Почвы	Решение
Высокая водопроницаемость структурных глинистых почв	Пойменные зернистые, лугово-бурые и луговые в разной степени заболоченные, хорошо оструктуренные и водопроницаемые ($К_ф$ > 0,3–0,4 м/сут) В профиле отсутствуют водоупорные горизонты	Отказ от глубокого рыхления
Застой воды на подпахотных водоупорных горизонтах органогенных почв	Органогенные почвы различного ботнического состава, степени разложения и мощности	Отказ от глубокого рыхления из-за ускоренной сработки торфа Возможна замена на кротование при степени разложения торфа < 40%

4.4. Методы определения междренных расстояний при проектировании осушительных систем

Одним из наиболее ответственных вопросов проектирования осушительных систем с использованием закрытого материального дренажа (керамического, пластмассового и др.) является выбор междренных расстояний и глубин заложений дренажных линий. В настоящее время используют две группы методов, основанных на взаимосвязи, во-первых, междренных расстояний с физико-механическими свойствами почв (например, с их набуханием, гранулометрическим составом и др.) и, во-вторых, взаимосвязи междренных расстояний с их водно-физическими свойствами (водоотдачей и фильтрацией, дренажным стоком). При этом наиболее существенным является определение или расчет междренных расстояний, тогда как глубины заложения дрен являются относительно стабильным параметром, определяемым, главным образом, особенностями хозяйственного использования территории и водным режимом почв. Кроме того, глубина заложения дрен в основном колеблется в относительно узком диапазоне — от 80 до 120 см (для садов — до 140–150 см). Следует подчеркнуть, что методы определения междренных расстояний по физико-механическим свойствам почв справедливы только в тех случаях, когда имеются достаточные условия для проверки этих взаимосвязей на обширном эмпирическом материале.

Вместе с тем и в этом последнем случае строгое соответствие между определенным физико-механическим свойством и параметрами дренажа сохраняется до тех пор, пока наблюдается прямая связь между этим свойством и $K_ф$ почвы. Если она нарушается, то прямая связь выбранного физико-механического свойства, например гранулометрического состава, с параметрами дренажа может исчезнуть. Последнее обстоятельство необходимо иметь в виду, чтобы правильно оценить возможности применения методов определения параметров дренажа, основанных на анализе физико-механических свойств почв. Это особенно актуально и потому, что методы оценки междренных расстояний по физико-механическим свойствам почв привлекают внимание своей простотой.

Рассмотрение основных расчетных параметров, необходимых для определения междренных расстояний, актуально еще и потому, что они определяют состав почвенно-мелиоративных изысканий и перечень необходимых для проектирования водно-физических и других свойств почв.

4.4.1. Определение междренных расстояний по набуханию почвы. Содовый метод Г. Янерта

Набухание образца определяют в градуированной стеклянной трубке с раствором соды. Внутренний диаметр трубок 12 мм, высота — 300 мм, градуировка $^1/_{10}$ см^3. В трубке предварительно обрабатывают образец, насыщают его ионами Na^+ и непосредственно измеряют набухание.

Предварительная обработка образца заключается в тщательном размельчении почвы вручную с помощью мешалок в форме спирали из стальной проволоки или с использованием электрического перемешивающего аппарата, позволяющего вести одновременно отработку большого числа почвенных образцов.

Каждая мешалка имеет пробку с отверстием, в которое вставляют деревянную или металлическую гильзу. Трубки с предварительно обработанными образцами устанавливают строго вертикально в жестяной штатив для оседания разбухшей почвы.

При измерении набухания используют 10%-ный содовый раствор. Для его приготовления 100 г химически чистой соды засыпают в литровый сосуд и доливают до метки дистиллированную воду.

В градуированную трубку наливают содовый раствор из вышестоящего сосуда при помощи шланга с ручным зажимом и вытянутым стеклянным наконечником до тех пор, пока жидкость не достигнет нижним краем мениска деления 20 см^3. Далее в трубку с раствором вводят образец воздушно-сухой почвы, предварительно пропущенной через сито с круглыми отверстиями диаметром 1 мм.

При работе с легкими и средними почвами в трубке должно быть 0,5–2 см^3, в случае тяжелых почв — 1 см^3. Взвешивать образец не обязательно. После этого суспензию в трубке встряхивают с частотой 180 раз в минуту, амплитудой 3 см в течение 10 мин. Затем мешалку вынимают, трубку закрывают резиновой пробкой и помещают в штатив. Уровень жидкости в трубке отсчитывают с точностью до $^1/_{100}$ см^3.

Этот отсчет за вычетом 20 см^3 содового раствора покажет объем используемой почвы.

Трубки оставляют в штативе до тех пор, пока взвешенная почва не осядет и толщина осадка не перестанет увеличиваться. Если в течение 24 ч не наблюдается дальнейшей осадки твердой взвеси, то высоту почвенной колонки принимают окончательной.

Продолжительность отстаивания точно определить заранее невозможно, однако для легких почв она обычно составляет 1–2, средних — 3–5 и тяжелых — 14 дней.

В период отстаивания трубки предохраняют от воздействия тепла, которое может вызвать вредные конвекционные токи и значительно нарушить толщину осадка почвы.

Набухание Q следует пересчитать на беспоровый объем твердой фазы и отнести к единице объема почвы, то есть разделить на исходный объем почвы B (в см^3):

$$Q = \frac{0{,}56Q_0}{B}, \qquad (37)$$

где Q_0 — отсчитанный полный объем набухшей почвы;

Q — набухание, рассчитанное на воздушно-сухую твердую фазу почвы.

Абсолютное набухание, рассчитанное на абсолютно сухую навеску, определяют, вводя поправку на влажность воздушно-сухой почвы. На рис. 4.8 приведен график, отражающий зависимость междренных расстояний от набухания. Метод предполагает региональную привязку расчетных данных.

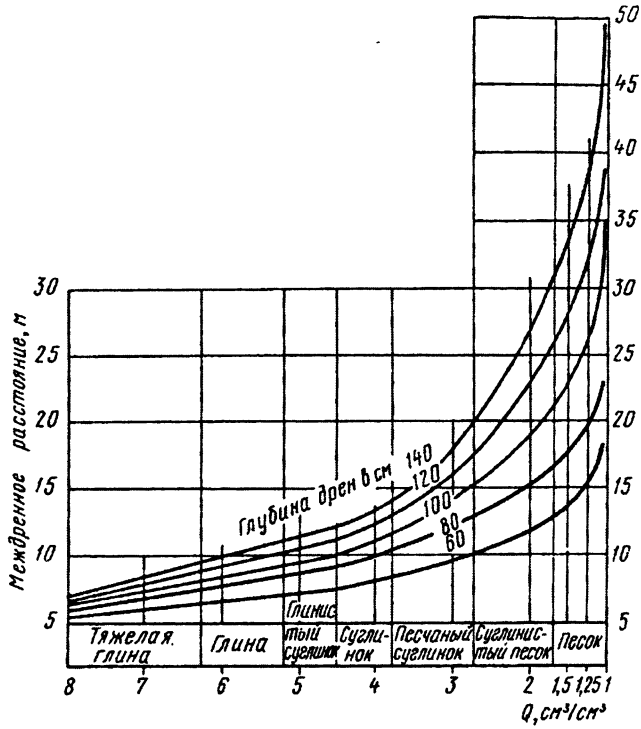


Рис. 4.8. **График зависимости междренных расстояний от набухания почвы (по методу Янерта)**

4.4.2. Метод определения междренных расстояний по гранулометрическому составу почв

Метод определения междренных расстояний по гранулометрическому составу почв, широко применяемый в мелиоративном строительстве, основан на предположении, что чем тяжелее почвы, тем меньшими должны быть междренные расстояния. Эта зависимость может быть использована, очевидно, в тех случаях, когда имеется обширный эмпирический материал, отражающий эффективность различных параметров дренажа в почвах разного гранулометрического состава (Беерс, 1969).

Метод имеет несомненные преимущества, обусловленные простотой определения исходных почвенных характеристик, необходимых для расчета, быстротой оценки междренных расстояний и

дифференцированным подходом к выбору параметров дренажа для различных почвенно-мелиоративных условий. Его недостатком является необходимость значительных эмпирических данных по оценке эффективности дренажа в почвах разного гранулометрического состава. Кроме того, метод утрачивает достоверность при нарушении связи гранулометрический состав почв — водопроницаемость.

На рис. 4.9 приведен график, отражающий зависимость междренных расстояний (в м) от содержания в почве физической глины (час-

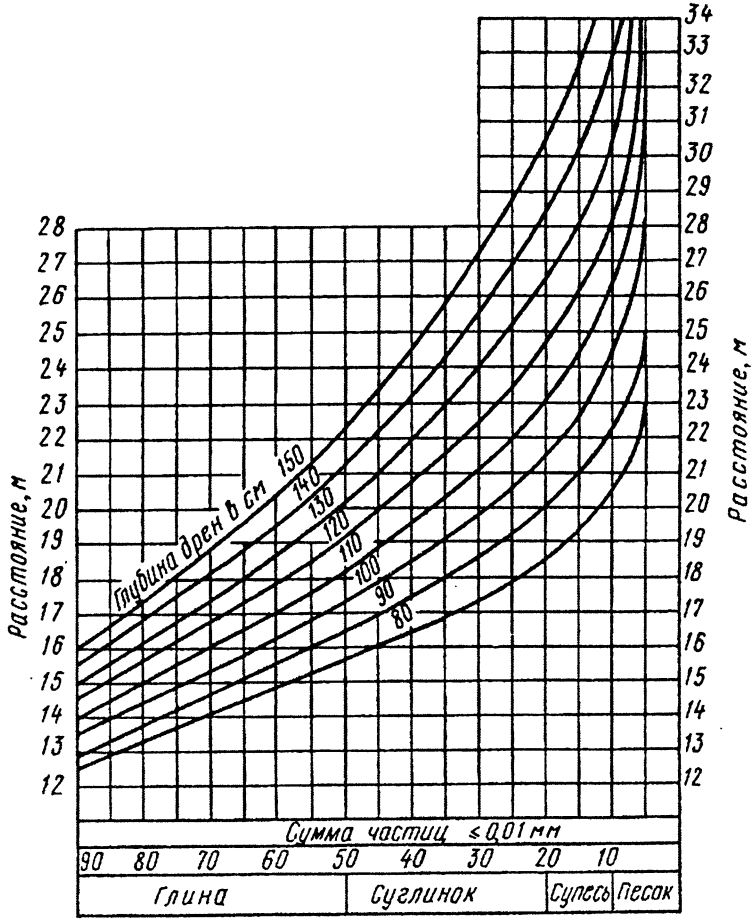


Рис. 4.9. **График для определения расстояний между дренами при осушении минеральных почв под пашню по их гранулометрическом составу (норма годовых осадков 650 мм)**

тиц < 0,01 мм), определенной по методу гранулометрического анализа почв по Н.А. Качинскому. Для решения этой задачи отбор фракции пипеткой может быть ограничен взятием секундной и минутной проб, т.е. фракцией 0,05–0,01 и < 0,01 мм. Таким образом, при сокращенном гранулометрическом анализе почв по Качинскому для определения содержания физической глины устанавливают наличие только четырех фракций: 1–0,25; 0,25–0,05; 0,05–0,01 и < 0,01 мм. Для определения междренных расстояний используют сумму частиц < 0,01 мм, т.е. фракцию физической глины. При выполнении такого сокращенного анализа несколько упрощается и ускоряется ход определения содержания частиц < 0,01 мм и процесс выбора оптимальных междренных расстояний.

В пылеватых почвах, однако, необходим полный гранулометрический анализ по методу Качинского, поскольку в таких почвах при содержании фракций 0,05–0,001 мм более 40% междренные расстояния уменьшаются на 20%.

В табл. 4.7 приведены поправки к основному графику, связанные главным образом с почвенно-мелиоративными условиями, которые необходимо учитывать при окончательном расчете междренных расстояний.

Таблица 4.7

Поправочные коэффициенты к междренным расстояниям в зависимости от гранулометрического состава почв и их свойств[1]

Показатели	Сумма частиц < 0,001 мм								
	90	80	70	60	50	40	30	20	10
При использовании почв под сенокосы		+10			+15		+	20	+25
Мощность гумусового горизонта > 30 см		+	10			+5			0
Карбонаты $CaCO_3$			+10				+5		0
Степень оглеения:									
слабые признаки оглеения			–15				–10		–5
глееватые почвы			–25				–20		–10
глеевые почвы			–35				–25		–15
Водопроницаемые прослойки	+	20	+	15		+	10		0
Примечание. При содержании в почвах пылеватой фракции более 40% расстояние между дренами уменьшают на 20%.									

[1] Сумма поправок в одно и том же случае не должна превышать для суглинистых и глинистых почв 40%, для песчаных и супесчаных — 20%.

В слоистых неоднородных по гранулометрическому составу почвах междренные расстояния определяют с учетом свойств отдельных слоев. Междренное расстояние E в этом случае оценивают как арифметическую средневзвешенную сумму междренных расстояний, свойственных отдельным слоям.

$$E = \frac{E_1(h_1 - a) + E_2 h_2 + \ldots + E_n(h_n + 0{,}2)}{h + 0{,}2 - a}, \qquad (38)$$

где E_1, E_2,... E_n — междренные расстояния для слоев различного гранулометрического состава, определенные по рис. 4.9, м; h_1, h_2, ... h_n — мощность слоев, м;

a — мощность пахотного горизонта, м;

h — расстояние от дневной поверхности до дрены, м.

Наряду с этими поправками, отражающими почвенно-мелиоративные различия, при определении междренных расстояний учитывают ряд других поправочных коэффициентов, которые отражают преимущественно гидрологические особенности осушаемой территории и рельеф (табл. 4.8).

Таблица 4.8

Дополнительные поправочные коэффициенты к значениям междренных расстояний в связи с гидрологическим особенностями осушаемой территории и рельефом

Среднегодовая сумма осадков, мм	750	700	650	600	550	500
Поправка, %	–25	–10	0	+10	+20	+30
Уклоны	До0,002		0,002–0,01		0,01–0,2	
Поправки, %	0		+15		+30	
Напорные вод	Расстояние уменьшают на 30–50%					
Признаки поступления ожелезненных грунтовых вод	Расстояние уменьшают на 10–20%					
Замкнутые котловины	Расстояние уменьшают на 20–30%					

Определение междренных расстояний по гранулометрическому составу почв справедливо при учете изложенных условий лишь для почв, развитых на кислых породах и имеющих элементарное (пески, супеси) или микроагрегатное (покровные, озерные, моренные и другие суглинки и глины) строение [Зайдельман, 1975]. Но для почв, имеющих макроагрегатное строение, например для пойменных, некоторых карбонатных, луговых и иных почв, этот метод утрачивает справедливость. Почвам этих генетических групп при тяжелом элементарном гранулометриическом составе нередко свойственна значительная

фильтрация, абсолютные значения которой равны или превышают фильтрацию в супесчаных и легкосуглинистых почвах (рис. 4.10). Поэтому при определении междренных расстояний по гранулометрическому составу легко прийти к парадоксальному заключению о том, что при дренаже почв с низкой фильтрацией, высокой плотностью и низкой пористостью необходима более редкая сеть дренажных линий, чем для хорошо агрегированных и водопроницаемых почв, только потому, что первые содержат значительно меньше частиц <0,01 мм.

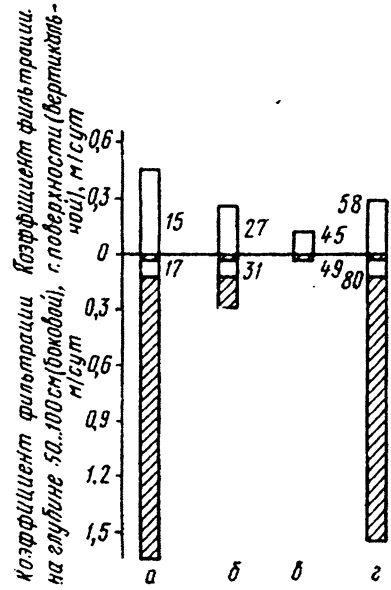


Рис. 4.10. **Коэффициенты фильтрации в почвах разного генезиса и гранулометрического состава.**

$К_ф$ дерново-подзолистых и пойменных глеевых почв: *а* — супесчаной; *б* — суглинистой; *в* — глинистой; *г* — пойменной зернистой (цифры на оси абсцисс — содержание частиц < 0,01 мм, %)

Таким образом, определение междренных расстояний по гранулометрическому составу допустимо только для элементарных по строению и для микроагрегатных почв, преимущественно песчаных, супесчаных, суглинистых и глинистых болотно-подзолистых, дерново-глеевых и др. При этом следует иметь в виду, что на связных (глинистых и суглинистых) почвах огромное влияние на параметры междренных расстояний оказывают агромелиоративные мероприятия, направленные на изменение их неблагоприятных физических свойств — кротование, глубокое рыхление, рыхление-кротование, глубокая пахота, а также агрохимические и биологические приемы по оструктуриванию их профиля (внесение органических удобрений, извести, полимерных структурообразующих клеев, посев трав и др.).

4.4.3. Расчет междренных расстояний по водно-физическим свойствам почв

В этом разделе рассмотрены методы расчета междренных расстояний на основе использования водно-физических свойств осушае-

мых почв, получившие широкое распространение в нашей стране и за рубежом. Однако такие сведения важны для почвоведов и мелиораторов не только потому, что они отражают методику расчета дренажа, но еще и потому, что они определяют содержание почвенно-мелиоративных изысканий, выполняемых для обоснования проектов мелиорации. Эти методы позволяют получить информацию о необходимых и достаточных параметрах для обоснования расчета дренажных систем.

4.4.3.1. Метод расчета междренных расстояний по С.Ф. Аверьянову и Я. Ротэ

Для расчета междренных расстояний при осушении относительно однородных по гранулометрическому составу почв (рис. 4.11) в условиях грунтового заболачивания С.Ф. Аверьяновым (1957) рекомендована формула:

$$E = 2H\sqrt{\frac{K_ф}{q}\left(1+\frac{2m}{H}\right)\alpha}, \qquad (39)$$

где E — расстояние между дренами, м;

m — расстояние от дрены до водоупора, м;

H — напор над дренами в конце расчетного периода, м;

$K_ф$ — коэффициент фильтрации, м/сут.;

q — средний за расчетный период приток воды к дренам, определяемый по формуле:

$$q = \frac{W}{t}, \text{ м/сут.;} \qquad (40)$$

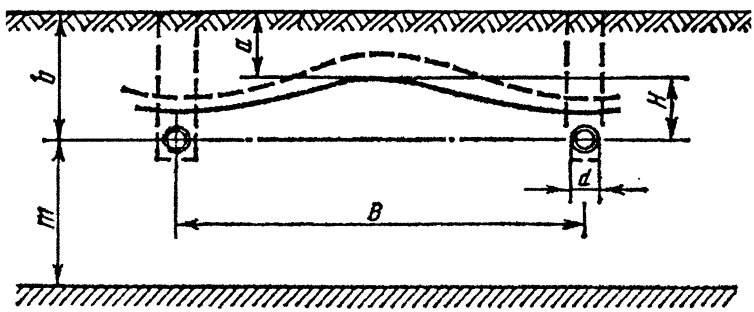


Рис. 4.11. Расчетная схема условий применения формулы С.Ф. Аверьянова при определении междренных расстояний

где W — слой воды, подлежащий отводу дренами и равный:

$$W = H_в + \mu a + O - u,$$

где $H_в$ — слой воды, остающийся после схода снега или выпадения осадков, м;

μ — коэффициент водоотдачи;

O — осадки, м;

u — испарение, м;

a — норма осушения, м;

t — время, сут.;

α — коэффициент висячести, т.е. степень «несовершенства» дрены по отношению к водоупору. Коэффициент висячести рассчитывают по формуле:

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{2m}{B} 2{,}941 \cdot \lg \frac{1}{\sin \frac{\pi d}{2m}}}, \qquad (41)$$

где d — диаметр дрены, м. Он равен диаметру фильтрующей засыпки или при ее отсутствии — наружному диаметру дрены.

Формула (41) может быть использована и для расчета расстояний между открытыми каналами. В этом случае расчетный диаметр (м) определяют как $d = 0{,}5b + h$ (b — ширина канала по дну; h — глубина его наполнения).

Если $m = 0$, то есть дрены залегают на водоупоре (совершенные дрены), то расчет E проводят по формуле Ротэ:

$$E = 2H\sqrt{\frac{K_ф}{q}}, \qquad (42)$$

где H — глубина дрен;

q — удельный приток воды с 1 м^2 поверхности в 1 с.

4.4.3.2. Расчет междренных расстояний по Хугхаудту

Формула Хугхаудта позволяет рассчитывать междренные расстояния для следующих трех случаев: при залегании дрен непосредственно на водоупоре или чуть выше этого слоя; при нахождении водоупора на значительной глубине (более $^1/_4$ расстояния между дренами); при залегании водонепроницаемого слоя на расстоянии менее $^1/_4$ длины междренья (рис. 4.12).

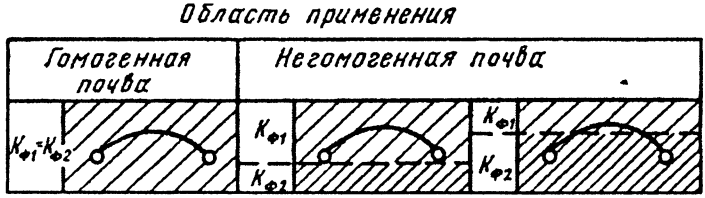


Рис. 4.12. Расчетная схема условий применения формулы Хугхаудта при определении междренных расстояний

Для всех трех случаев Хугхаудт дает практическое решение с помощью следующей формулы (Эггельсманн, 1984):

$$E^2 = \frac{8K_{ф2}dh}{S} + \frac{4K_{ф1}h^2}{S}, \qquad (43)$$

где E — расстояние между дренами, м;

$K_{ф1}, K_{ф2}$ — коэффициенты фильтрации слоя почвы, расположенного выше и ниже дрены, м/сут.;

d — фактор или эквивалентная толщина водоносного слоя почвы ниже оси дренажной трубы в зависимости от E, м (рис. 4.13);

D — расстояние от дрены до водоупорного слоя, м;

h — допустимая высота уровня грунтовых вод над дреной, м;

t — глубина заложения дрены, м;

f — допустимая глубина уровня грунтовых вод от поверхности, м (обычно 0,5 м);

S — максимальное количество отводимой воды осадков, м/сут.;

r — эффективный внешний радиус дренажной трубы, м.

Первая часть формулы соответствует режиму грунтового потока на участке ниже дрены, вторая — режиму грунтового потока на участке выше дрены.

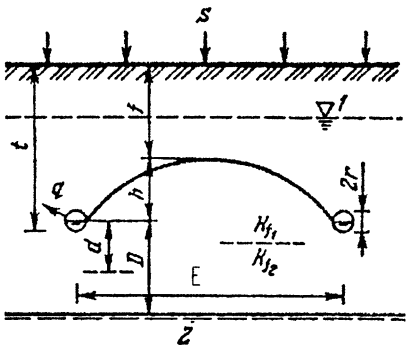


Рис. 4.13. Схема к формуле расчета расстояний между дренами по Хугхаудту: *1* — естественный уровень грунтовых вод; *2* — водонепроницаемый слой

Расстояние между дренами может быть определено двумя способами: аналитически (методом приближения в процессе подбора и сравнения) с помощью табл. 4.9 и графически с помощью номограммы (рис. 4.14) и табл. 4.10.

Таблица 4.9

Фактор *d* для расчета расстояний между дренами без номограммы [Эггельсманн, 1984]

	Фактор *d* для расчета расстояний между дренами, м										
***D*, м**	**5**	**7,5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**35**	**40**	**45**	**50**
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	0,47	0,48	0,49	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
0,75	0,60	0,65	0,69	0,71	0,73	0,74	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76
1	0,67	0,70	0,80	0,86	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,96	0,96
1,25	0,70	0,82	0,89	1,00	1,05	1,09	1,12	1,13	1,14	1,14	1,15
1,5	0,71	0,88	0,97	1,11	1,19	1,25	1,28	1,31	1,34	1,35	1,36
1,75	0,71	0,91	1,02	1,20	1,30	1,39	1,45	1,49	1,52	1,55	1,57
2	0,71	0,93	1,08	1,28	1,41	1,50	1,57	1,62	1,66	1,70	1,72
2,5	0,71	0,93	1,14	1,38	1,57	1,69	1,79	1,87	1,94	1,99	2,02
3	0,71	0,93	1,14	1,45	1,67	1,83	1,87	2,08	2,16	2,23	2,29
3,5	0,71	0,93	1,14	1,50	1,75	1,93	2,11	2,24	2,35	2,45	2,54
4	0,71	0,93	1,14	1,53	1,81	2,02	2,22	2,37	2,51	2,62	2,71
5	0,71	0,93	1,14	1,53	1,88	2,15	2,38	2,58	2,75	2,89	3,02
∞	0,71	0,93	1,14	1,53	1,89	2,24	2,58	2,91	3,24	3,56	3,88

Таблица 4.10

Вспомогательные величины к номограмме определения расстояний между дренами ($8h/S - 4h^2/S$)

	***S*, мм/сут.**				
***h*, м**	**5**	**7**	**9**	**10**	**17**
0,1	160–8	115–6	92–5	80–4	46–3
0,2	320–32	230–23	185–19	160–16	92–9
0,3	480–72	345–52	280–42	240–36	140–21
0,4	640–128	455–92	370–74	320–64	185–37
0,5	800–200	570–145	465–115	400–100	230–58
0,6	960–290	680–205	560–170	480–145	280–85
0,7	1120–390	800–280	650–225	560–195	325–115
0,8	1280–510	920–365	740–295	640–255	370–150
0,9	1440–650	1030–465	840–375	720–325	420–190
1,0	1600	1140–570	920–460	800–400	460–230
л/(с·га)	0,6	0,8	1,0	1,2	2,0

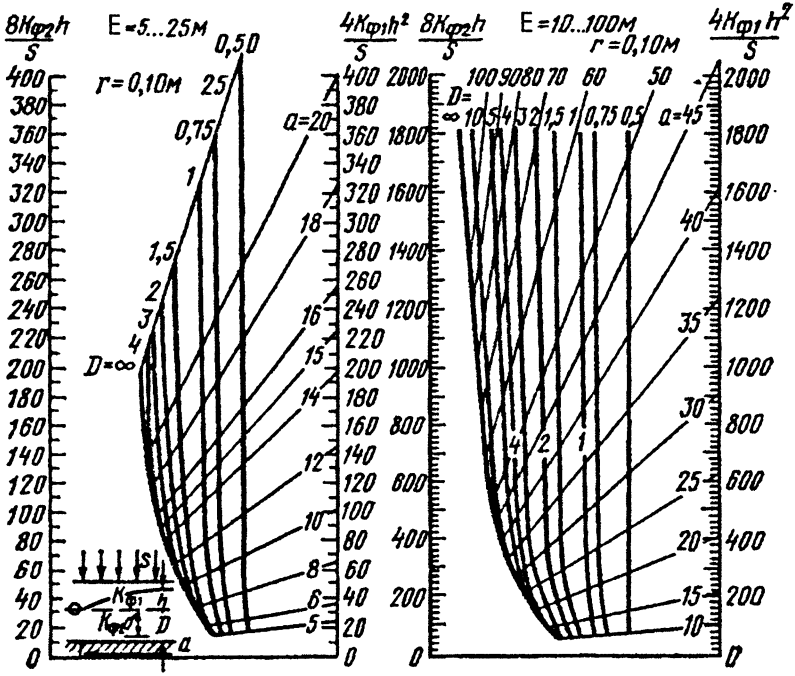


Рис. 4.14. **Номограмма для определения расстояний между дренами по формуле Хугхаудта (по Эггельсманну, 1984)**

Поскольку выбор эффективного внешнего радиуса дренажных труб незначительно влияет на расстояния между дренами, то таблица, составленная для $r = 0{,}1$, действительна для всех радиусов. Промежуточные значения округляют.

Междренное расстояние определяют подбором.

4.4.4. Степень заболоченности минеральных почв как фактор рационализации расчета дренажа

Все формулы расчета междренных расстояний имеют общий вид:

$$E = A\sqrt{\frac{K_ф}{\sigma}}, \qquad (44)$$

где E — междренное растояние;

$K_ф$ — коэффициент фильтрации;

σ — коэффициент водотдачи;

A — числовой множитель.

При этом, однако, в расчетах используют значения водоотдачи и модулей дренажного стока, не дифференцированные по степени заболоченности почв. Такой подход определяет стандартные решения. В результате осушаемая территория с заболоченными почвами одинакового гранулометрического состава, но разной степени заболоченности покрывается систематической сетью дрен с равными или близкими междренными расстояниями.

Такой стандартный подход при осушении почв, обладающих сложной структурой, очевидно, не оправдан, поскольку разные по степени заболоченности почвы обладают и разной продолжительностью избыточного увлажнения профиля, разным водным режимом.

Особенно отчетливо эти различия проявляются (и сохраняются неопределенно долго после осушения) в почвах на слабоводопроницаемых глинистых почвообразующих породах. Например, в глинистых дерново-подзолистых неоглеенных, слабоглееватых, глееватых и глеевых почвах, по наблюдениям автора, А.А. Жирова, М.Е. Гинзбурга, В.И. Якименко (1983), продолжительность обводнения пахотного слоя в естественном состоянии в течение теплого периода в годы расчетной 10%-ной обеспеченности осадков существенно различается и равна соответственно 63, 74, 108 и 122 дням (рис. 4.15).

Эти различия в годы разной влажности динамичны. В сухие периоды (в годы 75%-ной обеспеченности) продолжительность обводне-

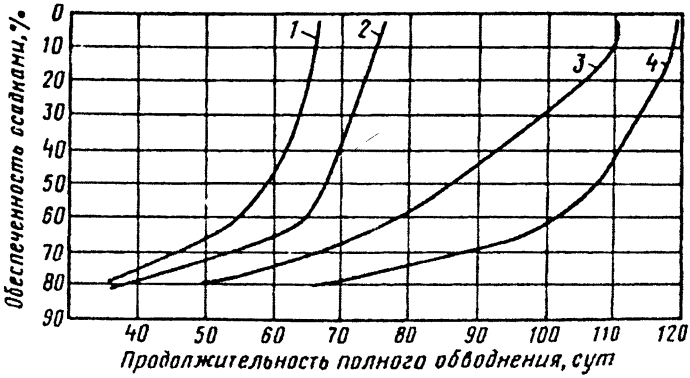


Рис. 4.15. **Продолжительность полного обводнения пахотного горизонта глинистых дерново-подзолистых почв на ленточных тонкослоистых тяжелых глинах при разной обеспеченности осадками (Мелиоративный почвенно-гидрологический стационар «Витка»)**
Почвы: *1* — неоглеенные; *2* — слабоглееватые; *3* — глееватые; *4* — глеевые

ния пахотного горизонта в почвах разной степени заболоченности оказывается менее контрастной, хотя и в этом случае можно обнаружить весьма заметные различия (соответственно 42, 45, 55 и 74 дня). Эти гидрологические особенности почв разной степени заболоченности сохраняются и в дальнейшем после осушения.

Несколько иные решения могут быть получены при использовании способа определения междренных расстояний по гранулометрическому составу осушаемых почв, поскольку здесь вводится поправка на степень их оглеения. Рассмотрим в этой связи преимущества и недостатки способа определения междренных расстояний по гранулометрическому составу, получившему широкое распространение в мелиоративной практике.

Впервые этот способ был рекомендован для практического использования в 1857 г. «Инструкцией королевской прусской комиссии по Силезии, предназначенной для землемеров и дренажных техников, занимающихся составлением проектов осушения и их выполнением». Этот способ при всей своей простоте имел не только определенные преимущества, но и существенные недостатки, которые заключаются в следующем. Он не учитывает структурного состояния и особенностей гидрологического режима почв разной степени заболоченности. Однако показано [Зайдельман, 1969, 1975], что в зависимости от степени агрегированности почвы близкого гранулометрического состава могут резко отличаться по значениям коэффициента фильтрации. Так, тяжелые пойменные глинистые агрегированные почвы (сумма частиц < 0,01 мм ~ 80%), как было отмечено выше, могут обладать такими же значениями $K_ф$, что и супеси (1–2 м/сут.).

Вместе с тем почвы на ленточных глинах при таком же содержании физической глины обладают свойствами практического водоупора ($K_ф$ = 0,001–0,005 м/сут.). Поэтому оценка междренных расстояний по гранулометрическому составу возможна только для почв элементарного (пески, супеси) или микроагрегатного строения (покровные, моренные, суглинки и глины), т.е. в таких почвах, где сохраняется прямая связь между фильтрацией и содержанием тонких фракций мелкозема. В почвах с выраженным макроагрегатным строением (например, на аллювиальных, пермских и иных суглинках и глинах) такой способ оценки междренных расстояний не достоверен, поэтому в них отсутствует связь между водопроницаемостью и со-

держанием частиц менее 0,01 мм. Следует, однако, подчеркнуть, что при определении междренных расстояний как по гранулометрическому составу, так и по известным формулам не учитываются вообще или отражаются неполно особенности гидрологии почв разной степени заболоченности. В этом отношении способ расчета междренных расстояний по гранулометрическому способу, вероятно, обладает известными преимуществами, поскольку в нем предусматривается введение незначительных поправок на степень оглеения почв (5–10–25%).

Экспериментальные данные, содержащие обоснование таких поправок, остаются, однако, неизвестными. Поэтому любой из существующих способов определения междренных расстояний в случае дренажа почв начальных стадий заболоченности приводит к уменьшению значений этого основного параметра осушительной системы. Следствием такого недостаточно полного учета степени заболоченности при определении междренных расстояний опосредованно по гранулометрическому составу или при их расчете по формулам, основанных на значениях $K_ф$ и σ, может оказаться излишнее увеличение инвестиций на капитальное строительство, неоправданное сгущение дренажа, экологически необоснованное обезвоживание почв и ландшафта. Поэтому при расчете основных параметров дренажа в процессе проектирования необходимо установить различия гидрологии дренированных почв разной степени заболоченности.

4.4.4.1. Модули и объемы дренажного стока осушительных систем на почвах разной степени заболоченности

Исследования почв на однородных по генезису и гранулометрическому составу почвообразующих породах Нечерноземной зоны (покровных, пермских и ленточных глин) позволяют признать, что модули и объемы дренажного стока находятся в тесной взаимосвязи со степенью заболоченности почв и могут весьма существенно различаться при близких или почти тождественных их водно-физических свойствах. Полученные данные показывают, что даже в континентальных условиях Предуралья (Кировская область) с замедленным размерзанием почв в предпосевной период наблюдаются резкие различия характеристик дренажного стока на дерново-глееватых и дерново- (перегнойно)- глеевых почвах. При сопоставимых параметрах

дренажных систем и близких значениях $K_ф$ продолжительность стока, его объем и максимальные модули предпосевного периода на глееватых и глеевых почвах относятся как 1 : 3 или 1 : 4 (табл. 4.11).

Таблица 4.11

Основные характеристики дренажного стока осушительных систем на дерново-глееватых и дерново-глеевых почвах, образованных на карбонатных пермских глинах. Среднегодовая характеристика 5-летнего ряда наблюдений (массив «Ивакинские пашни», Кировская область)

Показатели	Почвы		
	дерновоглееватые		дерново-глеевые
Междренные расстояния, м	10	20	20
Продолжительность стока, сут.	25	26	135
Средние модули стока, л/(с·га)	0,17	0,14	0,13
Замеренный годовой максимальный модуль стока, л/(с·га)	1,47	1,10	1,28
Максимальный модуль стока предпосевного периода, л/(с·га)	0,31	0,27	0,89
Суммарный объем дренажного стока, мм	44,5	40,2	128,0
% годовой суммы осадков	7	6	20

Аналогичные данные получены на почвах разной степени заболоченности на других породах. Таким образом, в водном балансе осушаемых почв постоянно сохраняются существенные различия, определяемые их исходной степенью заболоченности. Очевидно, это явление объясняется различной водосборной площадью, которая определяет объемы поступления поверхностных и грунтовых вод на почвы разной степени заболоченности.

Несмотря на дренаж всей или части площади водосбора после осушения, в период прохождения снегового или ливневого паводка определенная часть стока поступает дополнительно в дренаж сверх осадков, соответствующих климатической норме данной местности. Миграцию таких дополнительных объемов гравитационной влаги в дренаж наиболее отчетливо можно проследить в почвах поверхностного заболачивания. Несомненно, при наличии ограждающей сети, в частности при устройстве нагорных каналов (или при грунтовом заболачивании — ловчих), эти различия между почвами разной степени заболоченности несколько ослабевают. Однако они не исчезают полностью, их можно проследить практически всегда. Именно поэто-

му целесообразные междренные расстояния зависят не только от физических свойств, но и от гидрологического режима, определяющего степень заболоченности почв. Последнее обстоятельство обычно не учитывается при проектировании дренажа.

4.4.4.2. Оценка влияния степени заболоченности почв на междренные расстояния по методу Р.К. Панта и Э.А. Соовика

Взаимосвязь междренных расстояний и степени заболоченности почв впервые была показана в Эстонии работами Э.А. Соовика и Р.К. Панта. Э.А. Соовик установил тесную корреляцию между модулем среднегодового и вегетационного дренажного стока и степенью заболоченности почв. Эта зависимость является региональной. Она определяется гранулометрическим составом почв, их водопроницаемостью и степенью интенсивности осушения. В дальнейшем такой подход к расчету междренных расстояний с учетом степени заболоченности почв прошел длительную производственную проверку.

В 1971 г. в практику проектных работ Эстмелиопроекта Р.К. Пантом были введены поправочные коэффициенты к годовым нормам стока для почв разной степени заболоченности. Схематически для типичного ряда почв — торфянисто-глеевые, глеевые, сильноглееватые, слабо глееватые, с признаками оглеения — они составили соответственно 1; 0,8; 0,6; 0,4; 0,3. Поэтому для гидравлических расчетов принимались годовые нормы стока, равные 1; 0,8; 0,6; 0,4; 0,3 л/с · га.

Выбор модуля стока, соответствующего степени заболоченности осушаемой почвы, позволяет затем рассчитать междренные расстояния, адекватные гидрологическому режиму почв определенного уровня гидроморфизма.

Позднее Э.А. Соовик (1985, 1987) установил эмпирические зависимости между коэффициентом фильтрации почв, степенью их заболоченности, глубиной дренажных линий, характером сельскохозяйственного использования осушаемой территории и междренными расстояниями. На этой основе автором были построены несложные графические зависимости (рис. 4.16), которые получили широкое практическое применение при мелиоративном проектировании в Эстонии. Следует отметить, что, хотя эти номограммы и региональны по диапазону применения, принципы и методика их построения, несомненно, имеют общее значение. В них с

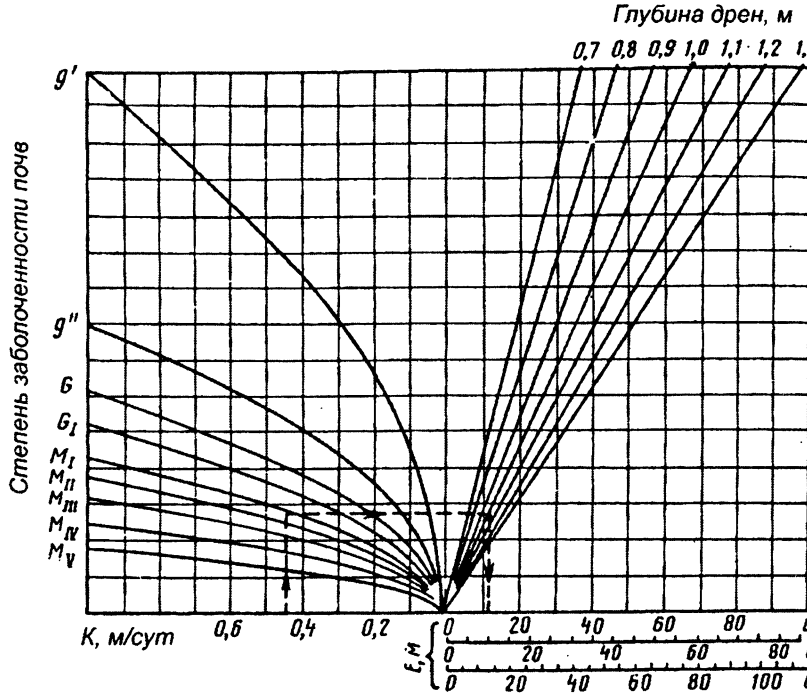


Рис. 4.16. **Определение междренных расстояний по методу Соовика с учетом коэффициента фильтрации и степени заболоченности почв; сельскохозяйственное использование почв: *а* — в саду; *б* — на пашне и культурном пастбище; *в* — на культурном пастбище в неблагоприятных условиях**

наибольшей полнотой концентрируется информация об естественных и хозяйственных факторах, определяющих важнейшие параметры дренажа.

Соовик предложил для расчета междренных расстояний дифференцировать почвы на пять групп по степени их заболоченности. Минеральные почвы автор подразделяет на почвы с признаками оглеения (*g'*), слабоглееватые *(g")*, *глееватые (g"')*, глеевые (*G*), заторфованные глеевые (G_1). Торфяные почвы в зависимости от степени обводнения и причин заболачивания автор делит также на пять групп с интервалом $M_1 \ldots M_5$. Экспериментальные данные позволили установить, что в наиболее часто встречающихся группах минеральных почв разной степени заболоченности *G*, *g"* и *g'* междренные расстояния относятся между собой как 1 : 1,25 : 2,4.

Отметим также, что Э.А. Соовик, во-первых, обосновал возможность резкого увеличения междренных расстояний на слабоглееватых почвах. Его рекомендации практически сводятся к предложению предусматривать на слабоглееватых почвах разреженный дренаж, что, несомненно, в ряде случаев может оказаться оправданным. Во-вторых, автор отказался от опосредованной оценки коэффициента фильтрации почв при расчете междернных расстояний по их гранулометрическому составу. Автор вводит в расчетную номограмму (рис. 4.16) прямые характеристики фильтрации и степени заболоченности почв. Актуальное значение такого подхода при расчете дренажных систем и систем двустороннего действия в последние годы подтверждают и исследования У.Х. Томберга (1987). Таким образом, показатель степени заболоченности (коэффициент заболоченности) становится не только важным экологическим, но и расчетным мелиоративным параметром, отражающим гидрологические особенности дренируемых почв.

4.5. Методы защиты осушаемых торфяных почв от гидротермической и пирогенной деградации; рекультивация пирогенных образований

Торфяные почвы формируются в условиях субаквального водного режима и постоянного анаэробиоза. В такой обстановке происходит накопление органического вещества отмирающих растений-торфообразователей в виде торфяных залежей различной мощности со скоростью 1,0–1,5 мм/год.

После устройства дренажа (открытого или закрытого) и осадки торфа органогенные почвы оказываются в аэробных условиях и подвергаются активному биохимическому разложению. Темпы этого процесса зависят от особенностей климата местности, глубины залегания грунтовых вод, вида и интенсивности сельскохозяйственного использования торфяных почв, конструкции осушительной сети и других причин.

В условиях самотечного осушения в южно-таежной подзоне Европейской части России при использовании торфяных почв в качестве луговых угодий скорость разложения органического вещества торфа составляет 0,5–1,0 см/год; на пахотных массивах с культурами

сплошного сева (главным образом, зерновых) — 1,0–2,0 см/год; на севооборотах с пропашными культурами — 2,0–3,0 см/год. Поэтому в условиях *гидротермической деградации* процесс исчезновения осушаемых торфяных почв происходит относительно медленно, обычно на протяжении нескольких десятилетий.

Вместе с тем осушаемые органогенные почвы в межень при глубоком залегании грунтовых вод в условиях самотечного осушения могут исчезнуть за несколько дней в результате пожаров. Последние возникают обычно при отрыве капиллярной каймы зеркала грунтовых вод от нижних горизонтов торфяной залежи. Сгорание торфа в результате *пирогенной деградации* может быть тотальным, приводящим к полному уничтожению органических почв до минерального дна болот или распространяться только на поверхностные горизонты осушаемых торфяных почв. В любом случае изменения органогенных почв в результате гидротермической или пирогенной деградации приводят к опасным последствиям.

Отечественный и мировой опыт культуры торфяных почв в условиях осушения выработал ряд эффективных методов их защиты от деградационных изменений. При этом очевидно, что проблема сохранения торфяных почв заключается в поддержании нейтрального или положительного баланса углерода в их профиле.

Поэтому, во-первых, торфяные почвы после осушения должны использоваться в качестве луговых угодий и рассматриваться как эффективный источник кормов для животноводства. У многолетних трав только $^1/_3$ органического вещества сосредоточена в надземной части растений, а $^2/_3$ — в корнях, тогда как у зерновых и овощных культур надземная масса составляет $^9/_{10}$ всего органического вещества, а корни — только $^1/_{10}$. Во-вторых, важным условием долголетия осушаемых торфяных почв является их высокое плодородие. Последнее обусловлено эффективной системой внесения минеральных (макро- и микроудобрений, особенно, минерального азота) и органических удобрений. Внесение крупных доз органических удобрений в торфяные почвы может быть успешно реализовано в результате их использования в качестве луговых угодий. К этой же группе мероприятий следует отнести и запашку органического остатка.

В-третьих, важным способом защиты торфяных почв от ускоренного разложения органического вещества торфа до элементарных окислов является поддержание лугового типа водного режима. Это

требование предполагает поддержание уровня грунтовых вод на глубинах, обеспечивающих нахождение капиллярной каймы в поверхностных корнеобитаемых горизонтах, т.е. на глубинах 40–60 см в период вегетации многолетних трав. При этом, однако, обязательным условием эксплуатации является сохранение в капиллярно-увлажняемой корнеобитаемой толще почв воздухоносной пористости не ниже 10–12%.

В-четвертых, эффективным способом защиты торфяных почв от пирогенной деградации и уничтожения в результате пожаров является покровное (или римпауновское) пескование. Оно заключается в создании на поверхности торфяных почва слоя песка мощностью 14–16 см. В этой слот вносят органические и минеральные удобрения. Только этот горизонт подвергается обработке. В нем концентрируется основная масса корней растений. Песчаный покров защищает торфяные почвы от пирогенной деградации и от возможной ветровой эрозии сухого поверхностного распыленного слоя торфа пахотного горизонта.

4.6. Определение скорости разложения органического вещества осушаемых торфяных почв методом капроновых капсул

Активное разложение органического вещества осушаемых торфяных почв происходит не только в пахотном слое, но и охватывает все горизонты почвенного профиля от дневной поверхности до уровня грунтовых вод. Поэтому оценка скорости разложения органического вещества торфа должна осуществляться с учетом этого явления по всем генетическим слоям органогенной почвы.

Для оценки скорости разложения органической массы осушаемых торфяных почв изготавливают капроновые капсулы. С этой целью из каждого исследуемого горизонта отбирают крупный образец торфа при влажности близкой к 0,8 ППВ–ППВ. Затем образец помещают на противень или в таз и тщательно гомогенизируют его вручную. Далее около 100 г гомогенизированной массы торфа, взвешенной до третьего знака, помещают на капроновую ткань. Предварительно из каждого образца отбирают пробу торфа на влажность и зольность. Рассчитывают абсолютно сухую массу торфа в капсуле и массу орга-

нического вещества торфа в каждой индивидуальной пробе, вводя поправку на зольность торфа.

Определение скорости разложения торфа выполняют в 10-кратной или большей повторности. Затем послойно устанавливают капроновые капсулы в ниши каждого горизонта до минерального дна болота в период летней межени.

По вертикали ниши должны быть сдвинуты ступенчато так, чтобы не нарушать движение почвенных растворов и воздуха. Ниши в каждом слое должно отстоять от ниш, устроенных в выше и ниже расположенных горизонтах на 15–20 см. В каждой нише исследуемого горизонта помещается 10 (или более) капроновых капсул с точно известной массой органического вещества торфяной почвы. К каждой капсуле прикрепляется этикетка в пленочной оболочке, содержащая информацию о номере образца и варианте опыта. Опытные образцы устанавливают на 110–120 дней непрерывного нахождения в нише разреза (рис. 4.17).

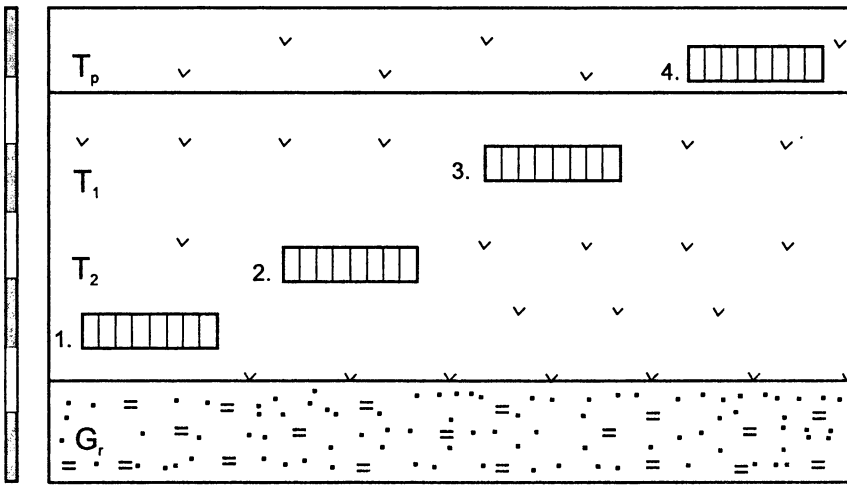


Рис. 4.17. **Предельная полевая влагоемкость (ППВ) почв (контурный столбик) гумидных ландшафтов и критическая влажность (0,75 ПВ), исключающая нормальное движение сельскохозяйственной колесной техники. *Почвы*: *1* — неоглеенная; *2* — глубокооглеенная; *3* — глееватая; *4* — глеевая; *а* — дерново-подзолистые тяжелосугли- нистые почвы на лёссовидной глине; *б* — то же, суглинистые почвы на лёссовидном суглинке; то же, супесчаные почвы на флювиогляциальном песке; *г* — пойменные дерновые зернистые почвы на глинистом аллювии**

Подпись к рис. 4.17 см. на с. 251.

Горизонты и ниши, в которые были установлены образцы торфяных проб в капроновых капсулах, тщательно маркируют, затем ниши плотно заполняют торфом исследуемых горизонтов и, наконец, закрывают послойно разрез массой ранее извлеченного торфа.

По истечению срока экспонирования осенью предварительно тщательно маркированный разрез вскрывают и отбирают из его ниш образцы торфа в капроновых капсулах. За время нахождения в разрезе в теплый период вегетации в образцы проникает определенная масса корней живых растений. Поэтому, прежде всего, необходимо осторожно пинцетом удалить корни, не снимая капроновой ткани. Затем образцы торфа в капроновой оболочке доставляют в лабораторию. Освобождают массу экспонированного образца от капроновой оболочки, промывают ткань от содержащихся на ней незначительных фрагментов торфа в большую фарфоровую чашку, собирают эти остатки и присоединяют их к общей массе образца торфа; затем сушат весь образец и рассчитывают его абсолютно сухую массу. После сушки для каждого индивидуального образца определяют зольность торфа и сухую массу его органического вещества. Разность между первым и вторым определением абсолютно сухой массы торфа и соответствует потере органического вещества торфа в результате его биохимического разложения.

Одновременно с этим сразу после установки капроновых капсул с образцами торфа необходимо послойно определить плотность торфяной почвы и произвести крупномасштабную зондировку залежи для оценки ее мощности и рассчёта общего и послойного запаса торфа.

4.7. Рекультивация плодородия на массивах пирогенных образований по методу Ф.Р. Зайдельмана

Гидрологические исследования показывают, что основная причина возникновения пожаров на торфяниках связана с отрывом капиллярной каймы от верхних горизонтов торфяной залежи, обусловленным глубоким осушением болот, отсутствием или нарушением двустороннего регулирования уровня грунтовых вод (УГВ), выходом из строя систем двустороннего регулирования водного режима и др. Существенную роль в возникновении пожаров играет повсеместное применение черной культуры земледелия, то есть использование торфяных почв для возделывания зерновых и пропашных культур без песчаной защиты.

Пирогенная деградация торфяных почв (ДТП) в зависимости от интенсивности и продолжительности горения торфа имеет различное проявление, которое в значительной мере предопределяет систему мероприятий по рекультивации. Следует, прежде всего, выделять *поверхностную* и *глубинную* деградацию торфяных почв.

Первая обусловлена сгоранием лишь поверхностных слоев торфяной залежи. При этом сохраняется весь профиль органогенной толщи с незначительным (1–2 см) слоем золы на поверхности (*полнопрофильные* пирогенно измененные торфяные почвы — ПИТП). При более длительном пожаре возможно выгорание пахотного или подпахотного горизонтов. В результате возникают пирогенно измененные торфяные почвы *укороченного* профиля с относительно мощными органическими горизонтами. Такие почвы могут быть успешно использованы в земледелии без рекультивации: полнопрофильные — для размещения всех районированных культур в системе травопольных севооборотов с значительным числом полей, занятых травами; укороченного профиля — в качестве зеленых угодий.

Глубинная деградация торфяных почв проявляется в полном сгорании торфа до минерального дна болота или до глубин, близких к меженному уровню грунтовых вод. Пирогенные образования, возникающие при глубинной деградации, обладают неблагоприятным водным режимом или низким плодородием, а чаще всего — как первой, так и второй негативными особенностями одновременно. Поэтому любое сельскохозяйственное их использование предполагает предварительную рекультивацию.

При глубинной пирогенной деградации торфяных почв возникают следующие шесть различных пирогенных образований: пирогенно-галечниковые, пирогенно-песчаные, песчаные, пирогенно-торфяные, пирогенно-древесно-песчаные и пирогенно-перегнойно-песчаные. Характерной особенностью всех этих образований (за исключением песчаных) является наличие на их поверхности зольного слоя толщиной от 2 до 6–10 см (реже больше) и близкое залегание мощной толщи галечникового аллювия, оглеенного кварцевого песка или оглеенных суглинисто-глинистых отложений разного генезиса (моренных, ленточных, лессовидных, пермских и др.).

При определении состава работ по рекультивации плодородия пирогенных образований, кроме их видового разнообразия, необходимо учитывать характер распространения пожаров на болотном

массиве. Территории, испытавшие воздействие пожаров, можно дифференцировать на *локально* и *тотально* пирогенно деградированные. В первом случае имеется в виду очаговое (локальное) сгорание торфяных почв при сохранении на остальной площади болотного или осушаемого массива полнопрофильных торфяных почв, эффективно используемых в сельскохозяйственном производстве. Во втором — пожары распространяются на всю площадь массива (тотальное выгорание торфа).

Эти особенности пожаров определяют ряд важных условий, которые необходимо учитывать при проектировании рекультивационных мероприятий. Так, после выгорания торфа происходит понижение гипсометрического уровня территории, следствием чего является интенсивное вторичное заболачивание пирогенных образований. Этот процесс особенно широко распространен на территориях огромных флювиогляциальных и древнеаллювиальных низменностей — полесий. В полесьях все элементы ландшафта находятся в тесной гидрологической взаимосвязи. Поэтому любые попытки изменения водного режима и осушения локально полнопрофильных пирогенно измененных торфяных почв на песках и галечниках будут непременно сопровождаться существенным понижением уровня грунтовых вод на всей окружающей пожарище площади распространения полнопрофильных торфяных почв, часто эффективно используемых в земледелии. В результате на территории, занятой полнопрофильными торфяными почвами, возникнут благоприятные условия для дальнейшего интенсивного развития пожаров. В связи с этим для осушения локально выгоревших территорий, ранее образованных торфяными почвами, целесообразно использовать не понижение уровня грунтовых вод с помощью дренажа, а подъем гипсометрических уровней сгоревшего массива путем землевания.

При тотальном (сплошном) выгорании торфяных почв осушение с использованием дренажа, напротив, может оказаться целесообразным мероприятием по устранению вторичного заболачивания. Применение дренажа для осушения вторично заболоченных пирогенных образований, как при сплошном, так и при локальном, поверхностном или глубинном выгорании торфяных почв целесообразно также в тех случаях, когда они залегают на слабоводопроницаемых суглинистых и глинистых отложениях. В таких условиях, как правило, площадь дренажа соответствует площади заболоченных почв (или

вторично заболоченных пирогенных образований) и значимо не распространяется на водосбор.

Таким образом, при локальной деградации торфяных почв осушение вторичных заболоченных пирогенных образований на галечниках и песках должно осуществляться с помощью землевания (или кольматажа, рефулирования и др.). Во всех других случаях, то есть при сплошном выгорании торфяных почв на песках, а также при локальном и сплошном их сгорании на суглинках и глинах осушение вторичных заболоченных пирогенных образований может осуществляться с помощью дренажа (открытого или закрытого).

При проектировании рекультивационных мероприятий должны учитываться и индивидуальные особенности пирогенных образований. Например, запасы стволовой спекшейся древесины на поверхности пирогенно-древесных образований определяют необходимость культуртехнических работ по ее удалению; значительные запасы золы в поверхностных слоях пирогенно-перегнойных образований — необходимость применения кулисных планировочных работ с целью сохранения и последующего использования золы как источника минерального питания растений и др. На объектах рекультивации следует также предусматривать мероприятия по двустороннему регулированию водного режима.

Разработанные автором предложения по рекультивации пирогенных образований с учетом их особенностей (табл. 4.12, 4.13) предусматривают после завершения работ по землеванию, известкованию, кулисной планировке, кроме того, внесение значительных объемов органических и минеральных макро- и микроудобрений. При этом на легких (песчано-супесчаных) пирогенных образованиях особенно важно завершить процесс землевания внесением в пахотный горизонт небольшой массы суглинка (300–400 т/га) для увеличения их поглотительной способности.

Анализы химического состава пирогенных образований свидетельствуют о том, что основные запасы доступных элементов минерального питания в их профиле приурочены главным образом к верхним горизонтам, образованным золой. Более глубокие песчаные слои содержат незначительные запасы калия, фосфора, кальция, магния и других элементов. В первые год-два содержание калия и фосфора в зольных горизонтах весьма высокое, но через 4–5 лет после пожара под влиянием атмосферных и намывных русловых вод калий

Таблица 4.12

Состав мероприятий по рекультивации пирогенных образований на водопроницаемых легких породах при локальном (пятнистом) и сплошном выгорании осушаемых низинных торфяных почв в условиях грунтового заболачивания (1-я группа)

Вид пирогенных образований	Проектируемое использование				
	Экстенсивное		Интенсивное		
	естественное состояние	улучшенное состояние*	пятнистое (очаговое) или локальное выгорание	сплошное выгорание крупных массивов	
1. Пирогенно-галечниковые или валунно-галечниковые	Непригодны для любого использования		1. Подъем поверхности землеванием с использованием значительных масс грунта 2. Внесение органических и минеральных удобрений	1. Дренаж 2. Подъем поверхности землеванием и создание мелкоземистой корнеобитаемой толщи 3. Планировка 4. Внесение органических и минеральных удобрений	Субирригация; при интенсивном использовании территории дополнительно — дождевание (синхронно-импульсное)
2. Пирогенно-перегнойные песчаные или супесчаные	Вейниковые луга средней продуктивности	Вейниковые луга повышенной продуктивности	1. Сгребание зольного, углистого и перегнойного горизонтов 2. Подъем поверхности землеванием 3. Планировка 4. Разравнивание смеси зольного, углистого и перегнойного горизонтов 5. Внесение органических и минеральных (азотных и калийных) удобрений**. Сидераты	1. Дренаж 2. Сгребание зольного, углистого и перегнойного горизонтов 3. Планировка 4. Разравнивание смеси зольного, углистого и перегнойного горизонтов 5. Внесение на поверхность небольших масс суглинистого грунта (300–400 т/га) 6. Внесение органических и минеральных удобрений	
	Немеханизированная уборка сена				

Продолжение таблицы 4.12

Вид пирогенных образований	Проектируемое использование				
	Экстенсивное		Интенсивное		
	естественное состояние	улучшенное состояние*	пятнистое (очаговое) или локальное выгорание	сплошное выгорание крупных массивов	
3. Пирогенно-песчаные и песчаные (или супесчаные)	Луга низкой и средней продуктивности, хозяйственного значения не имеют	Луга низкой и средней продуктивности	1. Подъем поверхности землеванием 2. Планировка 3. Известкование 4. Внесение крупных доз (100–150 т/га) органических и минеральных удобрений. Сидераты	1. Дренаж 2. Планировка 3. Внесение на поверхность масс суглинистого грунта (400–500 т/га) 4. Известкование 5. Внесение крупных доз (100–150 т/га) органических удобрений. Сидераты	Субирригация; при интенсивном использовании территории дополнительно — дождевание (синхронно-импульсное)
4. Пирогенно-торфяные на песках, супесях	Луга низкой и средней продуктивности	Луга преимущественно средней продуктивности	1. Создание покровной культуры земледелия (16 см пахотной песчаный горизонт) или подъем поверхности землеванием 2. Планировка 3. Известкование 4. Внесение органических и минеральных удобрений. Сидераты	1. Дренаж 2. Создание покровной песчаной культуры земледелия 3. Планировка 4. Известкование 5. Внесение крупных доз (100–150 т/га) органических и минеральных удобрений. Сидераты	
5. Пирогенно-древесно-песчаные или супесчаные	Луга низкой продуктивности, хозяйственного значения не имеют		1. Уборка древесины с поверхности 2. Подъем поверхности землеванием 3. Планировка 4. Известкование 5. Внесение органических и минеральных удобрений. Сидераты	1. Дренаж 2. Уборка древесины с поверхности 3. Планировка 4. Внесение на поверхность небольших масс суглинистого грунта (150–200 т/га) 5. Известкование 6. Внесение органических и минеральных удобрений. Сидераты	

* Подкормка луговой растительности минеральными удобрениями.
** Для пирогеных образований с высоким содержанием фосфора в горизонтах.

Таблица 4.13

Состав мероприятий по рекультивации пирогенных образований на слабоводопроницаемых тяжелых (суглинистых и глинистых) породах при выгорании осушенных низинных торфяных почв в условиях поверхностного заболачивания (2-я группа)

Вид пирогенных образований	Проектируемое использование			
	Экстенсивное		Интенсивное	
	естественное состояние	улучшенное состояние*		
1. Пирогенно-перегнойные суглинистые (глинистые)	Луга средней продуктивности	Луга средней и высокой продуктивности	1. Дренаж 2. Сгребание зольного, углистого и перегнойного горизонтов 3. Планировка 4. Разравнивание смеси зольного, углистого и перегнойного горизонтов 5. Известкование на кислых породах 6. Внесение органических и минеральных (азотных, фосфорных** и калийных) удобрений	Дождевание (синхронно-импульсное) при интенсивном использовании территории
2. Пирогенно-суглинистые (глинистые)	Луга низкой продуктивности	Луга низкой и средней продуктивности	1. Дренаж 2. Планировка 3. Известкование (на кислых породах) 4. Внесение крупных доз органических и минеральных удобрений	
3. Пирогенно-торфяные суглинистые (глинистые)	Луга низкой и средней продуктивности	Луга низкой и средней продуктивности	1. Дренаж 2. Планировка 3. Известкование 4. Внесение крупных доз органических и минеральных удобрений	

* Подкормка луговой растительности минеральными удобрениями.
** Пирогенно-перегнойные образования могут отличаться высоким содержанием фосфора. В таких случаях внесение фосфорных удобрений нецелесообразно.

практически полностью вымывается из профиля пирогенных образований. Его концентрация снижается на два порядка и оказывается несущественной. Одновременно уменьшается содержание фосфора в 3–4 раза. Поэтому работы по рекультивации пирогенных образований целесообразно осуществлять сразу после сгорания торфа с тем, чтобы избежать выщелачивания химических элементов, исключить их переход в большой геологический круговорот и использовать элементы питания, содержащиеся в золе, для производства сельскохозяйственном продукции.

В основу проекта рекультивации плодородия пирогенных образований должна быть положена почвенно-мелиоративная карта крупного масштаба (1 : 2000), объективно отражающая географическое распространение их видов на осушаемом массиве, физические свойства (прежде всего плотность и пористость), генезис и состав подстилающих пород, причины заболачивания. При выделении пирогенных образований в процессе полевого картирования может быть использована разработанная автором классификация. Картирование измененных пожаром торфяных почв и пирогенных образований должно осуществляться на планово-высотной топографической основе, составленной на неотбеленных материалах аэрофотосъемки. Одновременно на такой же основе должна быть составлена ботанико-культуртехническая карта в масштабе 1 : 2000.

При неблагоприятных финансовых, организационных и других условиях в зонах распространения пирогенных образований могут быть применены следующие альтернативные приемы их использования, не связанные с земледелием:

1. Создание рыбохозяйственных прудов.
2. Организация охотничьих угодий и зон туристического рыболовства.
3. Создание ферм для разведения плавающей птицы.
4. Создание улучшенных сенокосов на пирогенно-перегнойных образованиях при условии ручной уборки сена.
5. Производство мебели и других изделий на базе плантаций корзиночной ивы.

Территории, занятые пирогенными образованиями, могут быть использованы для выращивания древесины растений (как источника энергетического сырья). Такой опыт возделывания ивы в последнее

время получил широкое распространение в Польше, Австрии и других странах.

В связи с проблемой пожаров на торфяниках следует признать важнейшей задачей защиту незатронутых пожарами осушаемых полнопрофильных торфяных почв от пирогенной деградации и их тотального уничтожения.

В заключение следует отметить, что неблагоприятые последствия пожаров не ограничиваются уничтожением органогенных почв, сельскохозяйственных земель и лесных массивов. Одновременно происходит сокращение видового состава и численности биоты, задымление городов и поселков, отстоящих от очагов возгорания на десятки и сотни километров, вторичное заболачивание ранее осушенных территорий в результате снижения гипсометрических отметок поверхности земли, нарушение условий работы всех видов транспорта, резкое ухудшение мест обитания человека, рост заболеваний.

Пожары на болотных массивах (осушаемых или с естественным водным режимом) — опасная экологическая проблема. Пожары усиливают парниковый эффект, являются причиной сокращения биоразнообразия, резкого ухудшения среды обитания животных и человека. Поэтому защита торфяных почв от пирогенной деградации и рекультивация пирогенных образований сегодня — одна из основных проблем охраны природы гумидных ландшафтов страны.

4.8. Оценка проходимости сельскохозяйственной техники как показателя необходимости дренажа почв по методу Н.А. Качинского, А.Ф. Вадюниной и П.У. Бахтина

В зоне избыточного увлажнения широко распространены суглинистые и глинистые почвообразующие породы (моренные, покровные лёссовидные, озерно-ледниковые, пермские и др.), на которых формируются почвы с низкими значениями коэффициента фильтрации. Эта особенность усугубляется еще и тем, что здесь почти повсеместно господствуют процессы подзоло- и глееобразования, приводящие в конечном итоге к формированию почв с отчетливым элювиально-иллювиальным строением профиля. Этим почвам при-

суща высокая предельная полевая влагоемкость (ППВ) и низкая воздухоемкость. Объем свободных пор при ППВ оказывается равным или ниже 8–12%. Ухудшаются условия для роста и развития сельскохозяйственных культур.

Исследованиями Н.А. Качинского, А.Ф. Вадюниной и П.У. Бахтина было показано, что при влажности равной или выше 75% полной влагоемкости (ПВ), происходит резкое ухудшение условий движения колесных тракторов и другой техники. На этом основании было высказано суждение о том, что неблагоприятные условия для работы сельскохозяйственной техники на тяжелых почвах могут быть устранены в результате дренирования почв. Однако ситуация оказалась существенно сложнее.

Нашими исследованиями было показано, что влажность, соответствующая предельной полевой влагоемкости в тяжелых автоморфных и гидроморфных почвах равна или больше 75% полной влагоемкости (ПВ). Складывается весьма опасная, неблагоприятная обстановка, при которой в дренаж не поступает вода, так как влажность почвы не превышает предельную полевую влагоемкость, а сельскохозяйственная техника уже не может передвигаться по полю, так как влажность поверхностных горизонтов почвы равна или выше 75% ПВ (рис. 4.18). Такое состояние — обычное явление не только на тяжелых дренированных болотно-подзолистых почвах Нечерноземной зоны, но и на автоморфных неоглеенных почвах, в границах которых растения не страдают от избыточного увлажнения.

Как показали исследования водного режима на автоморфных почвах, в предпосевной период отсутствует гравитационная влага. Но при этом влажность почвы исключает условия для нормальной работы техники, поскольку она находится на уровне или выше 75% ПВ. В этом случае дренаж не сможет отвести ни капли воды, так как вся она не превышает значения предельной полевой влагоемкости. Следовательно, нецелесообразно и строительство дренажа. Таким образом, нарушение нормальной проходимости техники имеет место на всех почвах тяжелого гранулометрического состава с элювиально-иллювиальным профилем, поскольку их влажность, соответствующая предельной полевой влагоемкости, равна или выше 75% полной влагоемкости. При такой влажности в дрены не поступает вода, но при этом затруднено или невозможно движение сельскохозяйственной техники, прежде всего колесных тракторов и комбай-

нов. Поэтому проходимость сельскохозяйственной техники не может быть показателем необходимости осушения почв.

Если тяжелые подзолистые почвы по химическим и морфологическим признакам в соответствии с предложенной выше классификацией (см. табл. 6.4) относятся к неоглеенным или глубокооглеенным, то они не подлежат дренированию, несмотря на то, что здесь сельскохозяйственная техника длительное время работает в условиях, далеких от нормальных.

В каждом определенном случае на конкретных объектах мелиорации необходимо получить экспериментальное подтверждение целесообразности такого решения. Для этого при почвенно-мелиоративных изысканиях необходимо определить плотность пахотного горизонта почвы в равновесном состоянии, плотность его твердой фазы и рассчитать общую пористость ε. Если ППВ ≥ 0,75·ε, то на неоглеенных и глубокоогленных почвах необходимо выполнение агромеханических и агромелиоративных мероприятий по регулированию режима влажности без применения дренажа. В профиле этих почв к

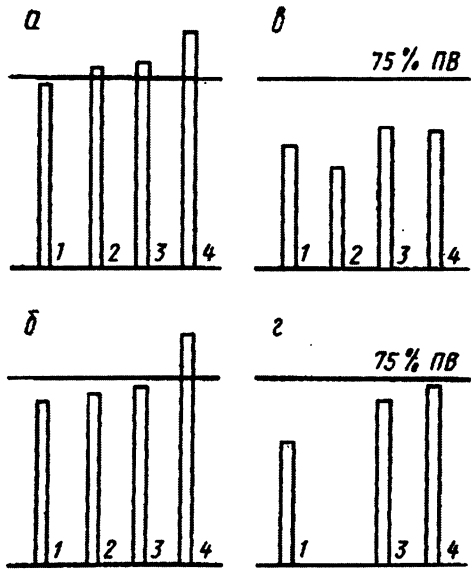


Рис. 4.18. **Схема установки капроновых капсул с образцами низинного торфа в нишах профиля осушаемой торфяной почвы.** ***Условные обозначения:*** **1. номера ниш — 1, 2, 3, 4; Тр — пахотный горизонт торфяной почвы; 3. Т 1, 2 — подпахотные торфяные горизонты; Gr — глеевый редуцированный песчаный горизонт**

Подпись к рис. 4.18 см. на с. 240.

началу предпосевного периода практически отсутствует гравитационная влага, способная образовать дренажный сток. На тяжелых глееватых и глеевых дерново-подзолистых почвах, обладающих значительным запасом гравитационной влаги, агрономические и агромелиоративные мероприятия в отличие от автоморфных должны осуществляться на фоне открытого или закрытого дренажа.

На автоморфных и гидроморфных почвах весьма существенны агрономические мероприятия по регулированию водного режима — травопольные севообороты, внесение органических и минеральных удобрений с целью получения высоких урожаев, биогенного оструктуривания и увеличения мощности (свыше 25–30 см) пахотного горизонта. Чем мощнее пахотный горизонт, тем эффективнее работают осушительные системы на тяжелых слабоводопроницаемых почвах.

Для таких условий должны использоваться трактора и другие сельскохозяйственные машины и транспортные средства с минимальным давлением на почвы. Особенно эффективны трактора и комбайны на сдвоенных скатах (например, на тракторах колесного типа К-701, Т-150), полугусеничные и гусеничные машины, оказывающие удельное давление на почву не более 80–120 кПа.

В европейской части Нечерноземной зоны на тяжелых подзолистых почвах нередко весьма эффективна замена зяблевой пахоты на весновспашку, поскольку такая обработка способствует ускорению поверхностного стока.

Большое значение в этом случае приобретают агромелиоративные мероприятия, способствующие усилению испарения с поверхности почв путем увеличения ее площади.

На глееватых и гелеевых почвах улучшение водного режима почв может быть достигнуто в результате комплексного использования не только гидротехнических, но одновременно агромелиоративных и агрономических мероприятий, направленных на осушение переувлажненных почв. Эти мероприятия связаны со сбросом поверхностных вод, организацией поверхностного и внутрипочвенного стоков, ускорением их отвода с осушаемой территории, а также с восстановлением гидравлической взаимосвязи пахотного горизонта и дренажных линий.

Глава 5
Методы изучения химических свойств почв и вод для обоснования проектов мелиорации

Отличительной особенностью почв и грунтовых вод гумидных ландшафтов на объектах мелиорации часто является повышенное содержание железа. Это обстоятельство приобретает наиболее опасную форму в тех случаях, когда почвы приурочены к породам, содержащим значительные концентрации несиликатных железистых минералов, в частности, пирита (например, юрские пиритсодержащие глины, образующие региональный водоупор Московской синеклизы).

В практическом отношении это опасно потому, что при высоких концентрациях закисного железа в грунтовых водах возникает реальная угроза закупорки дрен гидроокисью железа и недопустимой для растений аккумуляции этого элемента в поверхностных горизонтах почвенного профиля.

5.1. Методы диагностики и профилактики закупорки дрен гидроокисью железа

Поступление железа в грунтовые воды Нечерноземья следует, прежде всего, объяснить тем, что здесь на огромных территориях абсолютно господствует процесс глееобразования, следствием которого является интенсивное обезжелезнение почв и почвообразующих пород. Железо мигрирует в грунтовый поток в виде бикарбоната и карбоната, хелатных органо-минеральных соединений и в других формах. В результате в грунтовых водах гумидной зоны появляется железо, концентрация которого обычно невелика — 0,5–3,0 мг/л. Этот уровень может повышаться в зонах их естественного упаривания (до 5–15 мг/л). Однако наиболее существенно содержание двухвалентного железа возрастает в тех случаях, когда грунтовые воды приурочены к водоносным и водоупорным породам, обогащенным несиликатными железосодержащими минералами (например, пири-

том FeS_2). В результате растворения огромных масс этого минерала содержание закисного железа в грунтовых водах существенно возрастает и нередко достигает нескольких десятков и сотен миллиграммов на литр. Например, в пойме р. Яхрома в Московской области грунтовые воды, приуроченные к юрским отложениям, содержат до 200–300 мг/л двухвалентного железа.

Высокие концентрации двухвалентного железа сами по себе, очевидно, не представляют опасности для работы дренажа до тех пор, пока сохраняются анаэробные условия. Однако если возникает аэробная обстановка, значительные массы двухвалентного железа переходят в форму нерастворимого в воде трехвалентного гидроксида и выпадают в осадок. В последнем случае особенно опасна дегидратация аморфных и рыхлых коллоидальных масс трехвалентного гидроксида железа. При этом (например, в период летней межени) внутри труб, на стыках керамических или в перфорации пластмассовых дрен формируются аккумуляции твердых осадков лепидокрокита, лимонита, гидрогетита и других гидроксидных несиликатных железосодержащих минералов, образующих скопления охры — осадка гидроксидов трехвалентного железа.

Опасность отложения охры в дренах определяется содержанием в воде двухвалентного железа и значениями pH (табл. 5.1). Охра — коллоидальный осадок гидроксида трехвалентного железа. В свежем состоянии охра имеет желеобразную консистенцию желтоватого или красновато-бурого цвета. После высыхания на воздухе она превращается в окристаллизованный порошок.

Таблица 5.1

Опасность отложения охры в дренах в зависимости от содержания в воде двухвалентного железа и значения pH [Кунтце, Эггельсманн, 1974]

Содержание Fe^{2+}, мг/л		Опасность отложения охры в дренах
кислая реакция (pH < 7)	щелочная реакция (pH > 7)	
< 0,5	< 1,0	маловероятна
0,5–1,0	1,0–3,0	незначительна
1,0–3,0	2,0–6,0	средняя
3,0–6,0	6,0–9,0	большая
> 6,0	> 9,0	очень большая

В нейтральной и слабокислой среде причиной образования охры преимущественно из хелатных органо-минеральных соединений является жизнедеятельность нитчатых железобактерий групп *Galionella, Leptothrix* и нитеобразующих бесцветных сероокисляющих бактерий *Tiothrix.*

Кроме того, в этом процессе принимают участие гетеротрофные микроорганизмы, минерализующие органические леганды (бактерии, актиномициты и грибы). Г. Кунтце (1986) подчеркивает важную роль палочковидных ацидофильных серобактерий в окислении двухвалентного железа до трехвалентного и образовании охры в дренажных трубах. Серобактерии — аэробы, для развития которых требуется сильнокислая (pH 2,5–4,2) среда. Непрерывное подкисление среды (например, в почвах на юрских глинах, обогащенных пиритом) может происходить в результате возникновения серной кислоты в процессе окисления пирита.

В наиболее распространенных слабокислых или нейтральных условиях в контрастных зонах (аэробные — анаэробные среды), т.е. в щелях керамических или в перфорации пластмассовых труб, быстро развиваются нитевидные железобактерии с оптимумом pH 5–8 и Eh +200 — +500 мВ.

В прикладном отношении в рассматриваемой проблеме наибольший интерес представляют два вопроса: в каких почвенно-мелиоративных условиях происходит закупорка дренажа гидроокисью железа, и какими способами следует предотвратить выход из строя закрытых осушительных систем в результате аккумуляции железа в дренажных трубах.

Теоретически закупорка дренажа определяется окислительно-восстановительным потенциалом и щелочно-кислотными условиями. Двухвалентное железо может удерживаться в растворе и не переходить в трехвалентную нерастворимую форму при pH 7, если окислительно-восстановительный потенциал почвы ниже 200 мВ. Закупорка дренажа наблюдается, прежде всего, на массивах, заболоченных аллохтонными (грунтовыми) сильноожелезненными водами. Особенно отчетливо это проявляется на фоне экстремально ожелезненных грунтовых вод, приуроченных к породам и водоупорным горизонтам с повышенным содержанием несиликатных минералов железа.

По сообщениям У. Найдекера (1956), наиболее быстро выходит из строя дренаж, расположенный в поймах речных долин.

Ранее было показано [Зайдельман, 1981], что почвы Нечерноземной зоны с точки зрения возможной закупорки дренажа гидроксидом железа следует подразделить на следующие пять групп (табл. 5.2).

В состав *первой* группы входят подзолистые и болотно-подзолистые, дерново-глеевые, дерново-карбонатные, серые и серые лесные оглеенные на суглинистых и глинистых карбонатных, нейтральных и кислых покровных и моренных, на карбонатных пермских и озерно-ледниковых (кроме тонкослоистых ленточных глин) отложениях, заболоченных поверхностными водами. Она включает также почвы легкого гранулометрического состава, приуроченные к мало- и среднемощным двучленным отложениям с тяжелым подстиланием. В этом случае под слоем легкого флювиогляциального наноса неглубоко от дневной поверхности (соответственно до 60 и 120 см) залегает толща тяжелых отложений разного генезиса, играющих роль водоупора.

Применительно к минеральным заболоченным почвам, объединенным в первую группу, на территории Нечерноземной зоны неизвестны случаи выхода из строя систем в результате закупорки дрен гидроксидом железа.

Для этой группы почв свойственны концентрации железа в естественных поверхностных водах, вызывающих их заболачивание, не более 3 мг/л. Таким образом, содержание закисного железа в водах почв этой группы не превышает критические значения (табл. 5.1).

Существенно и то, что концентрация железа в дренажном стоке из почв, заболоченных поверхностными водами, обычно имеет тенденцию к снижению.

В отношении почв первой группы необходимо иметь в виду следующие обстоятельства.

1. В дренажном стоке содержание железа оказывается тем выше, чем больше междренные расстояния, чем слабее канализация участка.
2. В почвах на кислых породах в условиях поверхностного заболачивания изменчивость содержания Fe^{2+} во времени и в пространстве невелика. Заметные отклонения в естественных условиях можно ожидать лишь в ареалах сильноторфованных или в торфяных почвах. На минеральных оглеенных почвах колебания не выходят за границы одной градации.
3. Мероприятия по аэрации профиля оглеенных суглинистых и глинистых почв поверхностного заболачивания вызывают

Таблица 5.2

Степень опасности закупорки трубчатого закрытого дренажа охрой и состав изысканий в зависимости от почвенно-мелиоративных условий

Степень опасности	Угроза закупорки дрен	Причина заболачивания почв	Генезис		Геоморфологическая или ландшафтная приуроченность	Состав изысканий по мелиоративной оценке гидрохимических условий массива осушения
			почв	почвообразующих и подстилающих пород		
1	нет	поверхностные намывные склоновые и атмосферные воды	болотно-подзолистые; болотные; дерново-глеевые	моренные, покровные, пермские, озерные, кислые, нейтральные и карбонатные суглинки	моренные, покровно-моренные ландшафты; ополья; возвышенные равнины Западного Предуралья; надпойменные террасы речных долин	картирование и локальное опробование гидрохимических условий не требуется
2	как правило, нет	грунтовые пресные, ультрапресные и жесткие воды	болотно-подзолистые; болотные; дерново-карбонатные	моренные, флювиогляциальные, древнеаллювиальные пески, супеси, реже легкие суглинки	полесья, надпойменные террасы речных долин на породах, не содержащих пирит и др. несиликатные железосодержащие минералы	локальное опробование грунтовых вод в контурах распространения торфяных почв

Продолжение таблицы 5.2

Степень опасности	Угроза закупорки дрен	Причина заболачивания почв	Генезис		Геоморфологическая или ландшафтная приуроченность	Состав изысканий по мелиоративной оценке гидрохимических условий массива осушения
			почв	почвообразующих и подстилающих пород		
3	вероятна незначительная локальная угроза	намывные русловые воды, содержащие аллювий, обогащенный железосодержащими несиликатными минералами	пойменные зернистые оглеенные, дерново-глеевые и торфяные	современные аллювиальные суглинистые и глинистые отложения	пойменные террасы речных долин	локальное опробование грунтовых вод в контурах распространения торфяных почв и в зонах аккумуляции верховодки на минеральных почвах
4	вероятна локальная угроза	поверхностные намывные склоновые и атмосферные воды	болотно-подзолистые	тонкослоистые нейтральные ленточные глины	лимногляциальные ландшафты Великих озер Русской платформы	при эксплуатации локальное опробование стока на спаде паводка
5	возможна повсеместная закупорка	грунтовые и напорные ожелезненные воды равнин и межгорных котловин	болотно-подзолистые ортзандовые; луговые рудяковые; железистые коры; пойменные иловато-глеевые; торфяные ожелезненные	аллювиальные, древнеаллювиальные, флювиогляциальные пески, супеси, легкие суглинки, обогащенные несиликатными железистыми минералами или на пиритосодержащих породах. Древнеаллювиальные суглинки и глины на ожелезненных водах	полесья, террасы речных долин, межгорные котловины. Зона распространения юрских пород, обогащенных пиритом и другими железистыми несиликатными минералами	крупномасштабное сплошное гидрохимическое картирование территории

существенное снижение содержания Fe в водах дренажного сто ка. Так, на второй-третий год после глубокого мелиоративног рыхления активными рыхлителями на глубину 0,8 м установле но снижение содержания Fe^{2+} на 20–50%.

4. При анализе полученных данных обращает внимание часто на блюдаемое увеличение концентрации Fe^{2+} на спаде весеннег пика.

Последнее обстоятельство связано, по-видимому, с тем, что н спаде паводка, на фоне общего прогревания обводненной почвы, ин тенсифицируется процесс обезжелезнения минеральной массы мел козема и кратковременного повышения содержания закисног железа в водах дренажного стока.

Вторую группу образуют легкие почвы различного генезиса, забо лоченные неминерализованными пресными, ультрапресными и жесткими гидрокарбонатно-кальциевыми водами. Осушительным системам, действующим в таких условиях, не угрожает закупорка дренажа гидроксидом железа.

В *третью группу* входят суглинистые и глинистые пойменны почвы на тяжелом аллювии, заболоченные поверхностными намыв ными русловыми водами. В этом случае также, как правило, не про исходит формирования ожелезненных вод и не возникает угроз закупорки дренажа оксидом железа.

Вместе с тем, в ряде случаев, здесь не только на торфяных, но и м минеральных почвах может заметно увеличиваться содержание под вижного железа в верховодке. Последнее обстоятельство обычно об условлено геологическим строением речной долины. Если река размывает юрские или иные отложения, обогащенные несиликатны ми железосодержащими минералами, твердый сток может оказаться источником заметных концентраций железа в дренажных водах.

Особый интерес представляют почвы *четвертой группы,* приуро ченные к кислым или нейтральным тонкослойным ленточным гли нам поверхностного заболачивания. В этом случае, когда почвообразующие породы отличаются особенно тяжелым гранулометрическим составом и высоким содержанием илистой фракции (например, тонкослоистые ленточные глины бассейна оз. Ильмень, частиц менее 0,001 и 0,01 соответственно 40–45 и 85–95%), выход закисного железа в дренажный сток на спаде паводка оказывается весьма значительным. Установлено увеличение в несколько раз

содержания Fe^{2+} в дренажном стоке при его переходе в капельный. Эти особенности изменения содержания железа в дренажных водах следует учитывать при проектировании дренажа и выборе мероприятий, исключающих его закупорку охрой. Несмотря на то, что пока здесь не зафиксированы случаи выхода из строя дрен в результате ожелезнения, тем не менее, существует реальная угроза их закупорки.

Наконец, *пятую*, наиболее опасную *группу* образуют почвы, приуроченные к ареалам распространения ожелезненных грунтовых вод. Как правило, это ортзандовые и рудяковые почвы разного генезиса, железистые аккумулятивные коры, ожелезненные торфяные почвы, часто с мощными аморфными гидроокисными поверхностными горизонтами, минеральные и торфяные пойменные почвы. Грунтовые воды, вызывающие их заболачивание, приурочены к водоносным и (или) водоупорным породам, обогащенным железосодержащими несиликатными минералами. В таких условиях в дренажных трубах, в их стыках и перфорации может накапливаться значительная масса охры, которая после дегидратации прочно перекрывает поступление воды в дрены. В табл. 5.2 систематизированы данные, отражающие степень опасности и угрозу заохривания дрен в зависимости от почвенно-мелиоративных условий, и состав изысканий по выявлению угрозы ожелезнения дрен.

К этому следует лишь добавить, что для территорий, занятых почвами пятой группы, следует признать целесообразным составление самостоятельных картограмм гидрохимического опробования, увязанного с детальными (М 1 : 2000 или 1 : 5000) почвенно-мелиоративными картами массивов осушения.. На этой основе затем в составе проекта необходимо разработать систему мероприятий по защите закрытых дренажных систем от заохривания. Весьма эффективны из них следующие.

1. Замена пластмассового дренажа керамическим в тех случаях, когда содержание Fe^{2+} в грунтовых водах равно 3–6 мг/л. Если концентрация этого иона оказывается более 6 мг/л, то происходит заиление приемных отверстий труб.
2. Увеличение уклона дрен до 0,005–0,007. Придание такого уклона создает благоприятные условия для работы керамических дрен при содержании железа в грунтовых водах в интервале от 6 до 12 мг/л.

3. При значительных концентрациях железа необходим перехват грунтового потока и сброс его за пределы осушаемой территории.
4. Принудительная промывка дрен с помощью реактивных промывочных устройств.
5. Ингибирование железобактерий ионами меди.

Значительно снижают миграционную активность двухвалентного железа все мероприятия, усиливающие аэрацию почв (глубокое мелиоративное рыхление, кротование) и интенсивное известкование поверхностных горизонтов профиля. Вместе с тем Г. Кунтце (1986) показано, что использовавшийся ранее прием внесения извести в траншею для создания слабощелочного барьера вокруг дренажной трубы часто приводит к аккумуляции гидроокиси железа в порах засыпки и падению ее водопроницаемости.

Процесс закупорки наиболее заметен при концентрациях двухвалентного железа в грунтовой воде свыше 10 мг/л. $K_ф$ засыпки снижается в 2–3 раза по сравнению с неизвесткованным контролем.

Таким образом, мероприятия по защите дренажа от закупорки гидроокисью железа сводятся к следующему (табл. 5.3).

Таблица 5.3

Профилактические мероприятия по борьбе с закупоркой дрен гидроокисью железа при разной концентрации Fe^{2+} в грунтовых водах (Зайдельман, 1981)

Содержание Fe^{2+} в грунтовых водах, мг/л	Угроза закупорки дрен гидроокисью железа	Профилактические мероприятия по борьбе с закупоркой дрен гидроокисью железа
< 3	отсутствует	1) не требуются
3–6	возможна закупорка перфорации дренажных пластмассовых труб	2) применение дренажных труб из иных материалов (гончарные, деревянные и другие трубы)
6–12	возможно образование железистых пробок в дренажных непластмассовых трубах	3) увеличение уклона дрен до 0,005–0,007 и более
12–25	возможно интенсивное образование железистых пробок в дренажных трубах	4) увеличение уклона дрен до 0,005–0,007 и более; интенсивное известкование и аэрация почв (кротование, рыхление)

Продолжение таблицы 5.2

Степень опасности	Угроза закупорки дрен	Причина заболачивания почв	Генезис		Геоморфологическая или ландшафтная приуроченность	Состав изысканий по мелиоративной оценке гидрохимических условий массива осушения
			почв	почвообразующих и подстилающих пород		
3	вероятна незначительная локальная угроза	намывные русловые воды, содержащие аллювий, обогащенный железосодержащими несиликатными минералами	пойменные зернистые оглеенные, дерново-глеевые и торфяные	современные аллювиальные суглинистые и глинистые отложения	пойменные террасы речных долин	локальное опробование грунтовых вод в контурах распространения торфяных почв и в зонах аккумуляции верховодки на минеральных почвах
4	вероятна локальная угроза	поверхностные намывные склоновые и атмосферные воды	болотно-подзолистые	тонкослоистые нейтральные ленточные глины	лимногляциальные ландшафты Великих озер Русской платформы	при эксплуатации локальное опробование стока на спаде паводка
5	возможна повсеместная закупорка	грунтовые и напорные ожелезненные воды равнин и межгорных котловин	болотно-подзолистые ортзандовые; луговые рудяковые; железистые коры; пойменные иловато-глеевые; торфяные ожелезненные	аллювиальные, древнеаллювиальные, флювиогляциальные пески, супеси, легкие суглинки, обогащенные несиликатными железистыми минералами или на пиритосодержащих породах. Древнеаллювиальные суглинки и глины на ожелезненных водах	полесья, террасы речных долин, межгорные котловины. Зона распространения юрских пород, обогащенных пиритом и другими железистыми несиликатными минералами	крупномасштабное сплошное гидрохимическое картирование территории

существенное снижение содержания Fe в водах дренажного стока. Так, на второй-третий год после глубокого мелиоративного рыхления активными рыхлителями на глубину 0,8 м установлено снижение содержания Fe^{2+} на 20–50%.

4. При анализе полученных данных обращает внимание часто наблюдаемое увеличение концентрации Fe^{2+} на спаде весеннего пика.

Последнее обстоятельство связано, по-видимому, с тем, что на спаде паводка, на фоне общего прогревания обводненной почвы, интенсифицируется процесс обезжелезнения минеральной массы мелкозема и кратковременного повышения содержания закисного железа в водах дренажного стока.

Вторую группу образуют легкие почвы различного генезиса, заболоченные неминерализованными пресными, ультрапресными и жесткими гидрокарбонатно-кальциевыми водами. Осушительным системам, действующим в таких условиях, не угрожает закупорка дренажа гидроксидом железа.

В *третью группу* входят суглинистые и глинистые пойменные почвы на тяжелом аллювии, заболоченные поверхностными намывными русловыми водами. В этом случае также, как правило, не происходит формирования ожелезненных вод и не возникает угроза закупорки дренажа оксидом железа.

Вместе с тем, в ряде случаев, здесь не только на торфяных, но и в минеральных почвах может заметно увеличиваться содержание подвижного железа в верховодке. Последнее обстоятельство обычно обусловлено геологическим строением речной долины. Если река размывает юрские или иные отложения, обогащенные несиликатными железосодержащими минералами, твердый сток может оказаться источником заметных концентраций железа в дренажных водах.

Особый интерес представляют почвы *четвертой группы,* приуроченные к кислым или нейтральным тонкослойным ленточным глинам поверхностного заболачивания. В этом случае, когда почвообразующие породы отличаются особенно тяжелым гранулометрическим составом и высоким содержанием илистой фракции (например, тонкослоистые ленточные глины бассейна оз. Ильмень, частиц менее 0,001 и 0,01 соответственно 40–45 и 85–95%), выход закисного железа в дренажный сток на спаде паводка оказывается весьма значительным. Установлено увеличение в несколько раз

Продолжение таблицы 5.3

Содержание Fe^{2+} в грунтовых водах, мг/л	Угроза закупорки дрен гидроокисью железа	Профилактические мероприятия по борьбе с закупоркой дрен гидроокисью железа
25–50	интенсивное охрообразование в дренажных трубах	5) те же мероприятия, что и для группы 4; кроме того, целесообразно применение дрен более крупного диаметра (7,5–10 см). Использование ионов Cu^{2+} для подавления жизнедеятельности железобактерий
> 50	интенсивное охрообразование в дренажных трубах; интенсивное ожелезнение почвы	6) те же мероприятия, что и для группы 5; кроме того, перехват потока ожелезненных вод системой ловчих каналов

В связи с изложенным следует подчеркнуть, что все рассмотренные рекомендации по оценке ожелезненных грунтовых вод в связи с угрозой закупорки дренажа оксидом железа относятся в основном к условиям южно-таежной подзоны.

Сведения о возможности закупорки дренажа на закрытых системах в средней и северной тайге практически отсутствуют. Однако известны сообщения о том, что закрытые дренажные системы в высоких широтах при значительном содержании закисного железа в грунтовых водах (до 20–30 мг/л и более) не подвергаются заметному заохриванию. В настоящее время экспериментальные данные, объясняющие это явление, отсутствуют. Можно предложить лишь следующую гипотезу слабого ожелезнения дрен осушительных систем северных территорий Нечерноземья.

Как известно, минеральные почвы южной тайги подвергаются глубокому и относительно длительному иссушению в период летней межени. Это обусловливает обезвоживание охры и накопление железа в дренажной трубе и на ее стенках. Воды снегового и ливневого паводков не смывают эти осадки, и они активно нарастают. В конечном итоге дрена заполняется лимонитом, другими гидрокисдными железистыми минералами, и ее деятельность прекращается.

В отличие от южной в средней и, особенно, в северной тайге высыхание осушенных почв протекает слабее, аморфный осадок гидроксида железа не подвержен в этом случае глубокой дегидратации. Поэтому проходящий здесь под известным напором весенний паводок размывает и выносит окись железа из дрены. Такая естественная

очистка труб весной позволяет, по-видимому, осушительной системе неопределенно долго действовать в ожелезненных грунтовых водах почв Севера.

5.2. Полевая диагностика опасности заохривания дрен по почвенным новообразованиям по методу Ф.Р. Зайдельмана

Полевая диагностика опасности заохривания дрен основана на анализе почвенных железистых новообразований различного происхождения. Их значение для диагностики весьма неоднозначно (**табл. 5.4**).

Таблица 5.4

Диагностика в полевых условиях содержания Fe^{2+} в верховодке, грунтовых водах и опасности закупорки дренажа гидрооксидом железа по марганцовожелезистым конкреционным и неконкреционным новообразованиям в профиле почв [Зайдельман, 1996]

Вид новообразования	Размер по наибольшему диаметру, см	Гранулометрический состав почв	Ориентировочное содержание Fe^{2+} в воде, мг/л	Угроза закупорки дрен гидроксидом железа
Конкреционные новообразования				
Темно-серые и бурые ортштейны	0,5–1,0	глинистый, суглинистый	< 1,0	отсутствует
Дерновая руда	1–2,3	легкосуглинистый, супесчаный	До 20	слабая, средняя
Рудяк	5–30	супесчано-песчаный	20–50	сильная
Железистые коры	5–30 отдельностей, образующих коры	супесчано-песчаный	50–100	очень сильная
Неконкреционные новообразования				
Бурые псевдофибры	горизонтальные железистые цементации мощностью до 3 см	супесчано-песчаный	–	отсутствует
Ортзанд	то же, до 10–40 см	супесчано-песчаный	2–12	слабая, средняя
Аморфная гидроокись железа (охра)	поверхностные рыхлые отложения мощностью до 15–20 см	торфяный	30–80	сильная, очень сильная

Так, сегрегационные железистые новообразования — темно-серые железисто-марганцевые и бурые железистые ортштейны, трубчатые конкреции и другие новообразования, встречающиеся в почвах поверхностного заболачивания, образуются главным образом за счет мобилизации гидроокисного железа на месте. Они характеризуют обстановку, при которой в верховодке содержится незначительное количество железа, а в процессе эксплуатации осушительных систем обычно отсутствуют условия для образования железистых пробок в дренажных трубах. Такие железистые новообразования возникают в подзолистых и болотно-подзолистых почвах суглинистого и глинистого гранулометрического состава.

В легких почвах преимущественно хорошо дренированных территорий в средней части профиля возникают тонкие горизонтальные зоны железистой буроокрашенной цементации — псевдофибр. Их генезис связан с иллювиальными явлениями и возможен только при глубоком залегании грунтовых вод. Они, как и ортштейны, указывают на отсутствие опасности закупорки дрен гидроокисью железа. Иная обстановка складывается в почвах полесий и пойм рек. Здесь в районах распространения ожелезененных грунтовых вод формируются почвы с характерными железистыми новообразованиями. Дерновая руда (рис. 2.9), ортзандовые (рис. 2.26 и 2.27) и рудяковые горизонты (рис. 2.10), железистые коры (рис. 2.11) и другие новообразования оказываются четкими индикаторами концентрации закисного железа в грунтовых водах. В этих случаях возникает возможность в полевых условиях не только определить зону распространения ожелезененных грунтовых вод на осушаемом массиве, но и установить ареалы грунтовых вод с разным содержанием закисного железа. Обнаружена отчетливая корреляция между морфогенетическими свойствами почв и содержанием железа в грунтовых водах. В легких почвах при близком залегании слабоожелезненных грунтовых вод формируются ортзанды — песчаные горизонты, сцементированные гидроокисью железа.

Ортзандовые слои возникают в результате активной гидрогенной аккумуляции железа из грунтовых вод. В равной мере это относится и к рудяковым горизонтам. Вместе с тем рудяковые аккумуляции имеют строгую приуроченность к зонам особо высокой концентрации железа в грунтовых водах в условиях супераквальных ландшафтов. Первые формируются на слабоминерализованных водах с содержа-

нием железа 2–12 мг/л, вторые — на сильноминерализованных водах с концентрацией общего железа свыше 50 мг/л. Обращает внимание и то, что воды под рудяковыми почвами отличаются высоким содержанием сульфатов и, наконец, то, что в этих почвах близко к дневной поверхности залегают глины средней и верхней юры. Черные и темно-серые юрские глины, водоупорные горизонты, отличаются высоким содержание пирита, который служит источником поступления в грунтовые воды железа и серы. Экстрагирование этих элементов грунтовыми водами из юрских отложений происходит повсеместно на всей территории бассейна, но там, где юра ближе всего поднимается к дневной поверхности, концентрация железа в верхних слоях грунтовых вод оказывается максимальной. При поступлении грунтовых вод в зону аэрации закисные соединения железа быстро окисляются и выпадают в осадок в виде гидроокиси.

Вместе с тем следует отметить важную особенность, отличающую рудяковые почвы — железистые солончаки таежной зоны — от солончаков аридных районов, засоленных легководорастворимыми солями. Хлориды и сульфаты мигрируют непрерывно по капиллярам к испаряющей поверхности. В этом случае солевые аккумуляции формируются в верхней части капиллярной каймы. При засолении почв железом активная миграция растворов, обогащенных закисными солями этого элемента, по почвенным капиллярам строго ограничена только зоной устойчивого анаэробиоза. В легких почвах, где непосредственно выше уровня грунтовых вод господствуют аэробные условия, формирование рудяковых горизонтов обычно приурочено к уровням максимального подъема грунтовых вод.

Полевая диагностика распространения ожелезненных вод на объектах мелиорации может быть дополнена полевым (или лабораторным) изучением содержания железа в грунтовых водах.

5.3. Метод количественного определения содержания закисного железа в грунтовых водах в полевых условиях

Количественный метод прямого определения двухвалентного железа в грунтовых водах, рекомендуемый для использования при почвенно-мелиоративных изысканиях в полевых условиях, основан на способности иона Fe^{2+} образовывать с феррицианидом калия, или

красной кровяной солью $K_3[Fe(CN)_6]$, турнбулевую синь, окрашивающую раствор в синий цвет:

$$3Fe^{2+} + 2\,[Fe(CN)_6]^{3-} \rightarrow Fe_3[Fe(CN)_6]_2 \qquad (46)$$

При анализе грунтовой воды интенсивность окраски в исследуемой пробе сопоставляют с окраской стандартных растворов. Для этого предварительно готовят следующие растворы и реактивы:

эталонный раствор, содержащий 0,1 мг/л FeO (или 0,08 мг/л Fe^{2+}). Зеленые невыветрившиеся кристаллы соли Мора (навеска на аналитических весах) в количестве 0,5462 г растворяют в 500 мл 0,1 н. H_2SO_4 в мерной колбе на 1 л. Раствор доводят до метки дистиллированной водой. Для приготовления шкалы сравнения в пять мерных колб на 100 мл переносят 4, 8, 15, 31 и 63 мл эталонного раствора и доводят до метки дистиллированной водой; концентрация железа в этих колбах составит соответственно 3, 6, 12, 25 и 50 мг/л;

реактив на закисное железо — смесь 1 г красной кровяной соли и 9 г сахарной пудры, растертой в яшмовой ступке;

$KHSO_4$ — кислый сернокислый калий, химически чистый.

Исследуемую грунтовую воду наливают в пробирку до метки 5 см, добавляют 0,2 г $KHSO_4$ и 0,1 г реактива на закисное железо. Аналогично готовят стандартный раствор. После добавления реактивов раствор взбалтывают и через 3 мин колориметрируют в компараторе с окрашенным стандартным раствором. Растворы сравнения целесообразно обновлять ежедневно.

Для стабилизации концентрации железа в пробу грунтовой воды одновременно с ее отбором добавляют 1 мл ацетатного буфера.

При оценке возможности закупорки дренажа гидроокисью железа учитывают, что концентрация Fe^{2+} в грунтовых водах может заметно меняться во времени. Так, на протяжении теплого периода в Нечерноземной зоне Европейской территории РФ в результате разбавления потока грунтовых вод снеговым паводком, «упаривания» в засушливый период, изменения парциального давления угольной кислоты и других причин концентрации Fe^{2+} обычно возрастает на 20–40% и более. Поэтому в ходе мелиоративных изысканий целесообразно собрать сведения о содержании железа в грунтовых водах изучаемого массива весной, летом и осенью. Особый интерес представляют такие данные за весенний период, поскольку он совпадает с температурным оптимумом (3–5°С) железобактерий.

Следует подчеркнуть, что в этой методике предусмотрено определение содержания закисного железа (Fe^{2+}) в соответствии с рекомендациями табл. 4.13 по защите дренажа от его закупорки гидроокисью железа. Поэтому сразу после анализа грунтовых вод на содержание Fe^{2+} можно определить необходимый состав защитных мероприятий.

5.4. Определение коэффициента заболоченности минеральных почв по методу Ф.Р. Зайдельмана и А.К. Оглезнева[1]

При решении вопроса о целесообразности осушения почв разной степени заболоченности большое значение приобретает определение степени их заболоченности. Коэффициент заболоченности позволяет количественно оценить интенсивность переувлажения минеральных почв. Он рассчитывается по соотношению железа к марганцу, извлекаемым из ортштейнов 1 н. сернокислой вытяжкой ($K_з$ = Fe/Mn), предложенной К.В. Веригиной. Определение сводится к следующим операциям.

При диагностике гидроморфных почв, расчетах параметра дренажа и решении других вопросов особое значение имеет определение степени заболоченности почв.

Объективная оценка степени заболоченности минеральных почв, находящихся в условиях естественного режима, может быть получена аналитически при химическом исследовании ортштейнов — конкреционных новообразований, состав и свойства которых тесно связаны с особенностями водного режима суглинистых и глинистых почв подзолистого и болотно-подзолистого типов.

Метод определения степени заболоченности почв по химическим свойствам ортштейнов, предложенный Ф.Р. Зайдельманом и А.К. Оглезневым (1971) для диагностики почв с элювиальным или элювиально-иллювиальным профилем, заключается в следующем.

В конкреционных новообразованиях почв с элювиально-иллювиальным профилем с увеличением продолжительности поверхностного затопления соответственно увеличивается отношение валовых и

[1] 13. Авторское свидетельство № 333468 выдано Ф.Р. Зайдельману и др. на изобретение «Способ определения степени заболоченности минеральных почв» от 29.12.1971 г. (с приоритетом от 02.06.1970 г.).

подвижных форм железа и марганца. Для таких почв отмечена устойчивая зависимость между степенью их заболоченности и отношением подвижного железа к марганцу в ортштейнах. Отношение подвижного железа к марганцу ($K_з$ = Fe/Mn) в конкрециях — *коэффициент заболоченности минеральных почв* — может быть использован при диагностике степени заболоченности почв [Зайдельман, 1981, 1987]. Его определение весьма несложно и сводится к выполнению следующих операций:

• **выделение ортштейнов из почвы**

Для определении коэффициента заболоченности используют общую массу образца ортштейнов, извлекаемых из верхнего (0–10 см) слоя пахотного или аккумулятивного горизонта разреза или прикопки. Ортштейны извлекают из образца массой 0,5 кг. Воздушно-сухой образец почвы промывают водой на сите с диаметром отверстий 1 мм. В основном вся почва проходит сквозь сито. На сите остаются ортштейны крупнее 1 мм. Полученный на сите образец ортштейнов высушивают, освобождают от примесей (электромагнит) и взвешивают.

• **подготовка образца ортштейнов к анализу**

Для аналитического исследования образец ортштейнов растирают в фарфоровой ступке и просеивают сквозь сито с отверстиями 0,25 мм; 1 г растертого образца ортштейнов взбалтывают на ротаторе в 100 мл 1 н. раствора H_2SO_4 в течение двух часов. Вытяжку фильтруют, в фильтрате определяют железо и марганец.

• **определенно железа**

В плоскодонную эрленмейеровскую колбу емкостью 250–300 см^3 помещают 5–10 см^3 вытяжки, доливают водой до общего объема 25 см^3, приливают 1 см^3 концентрированной азотной кислоты и нагревают на электроплитке до кипения. После этого раствор нейтрализуют концентрированным раствором аммиака до появления желтой мути, приливают 10 см^3 10%-ного раствора соляной кислоты и дистиллированную воду до общего объема 100 см^3. Раствор нагревают до 70–80 С, приливают 1 см^3 20–30%-ного раствора сульфосалициловой кислоты. При наличии железа раствор окрашивается в вишневый цвет. Раствор титруют 0,05 н. раствором трилона Б до обесцвечивания окраски. Содержание железа рассчитывают в мг на 100 г ортштейнов.

• **определение марганца**

В стакан емкостью 100 $см^3$ помещают 5–10 $см^3$ вытяжки, приливают 1 $см^3$ концентрированной ортофосфорной кислоты и 1 $см^3$ 1%-ного раствора азотнокислого серебра. Прибавляют 200–300 мг сухой соли персульфата аммония или калия и нагревают на электроплитке до начала кипения. При наличии марганца раствор окрашивается в розовый цвет (цвет раствора марганцевокислого калия). Снова прибавляют персульфат аммония и доводят раствор до кипения. Эту операцию повторяют до тех пор, пока интенсивность окраски не перестает возрастать.

Раствор охлаждают, переносят в мерную колбу емкостью 50–100 $см^3$, доводят до метки 1 н. раствором серной кислоты, перемешивают и колориметрируют с зеленым светофильтром. Рассчитывают содержание марганца в мг на 100 г ортштейнов. Коэффициент заболоченности ($K_з$ = Fe/Mn) определяют путем деления значений содержания подвижного железа на содержание подвижного марганца, извлекаемых 1 н. H_2SO_4 из 100 г ортштейнов. Отношение кислоторастворимых форм железа к марганцу, извлекаемых из ортштейнов, — чувствительный и стабильный количественный индикатор степени заболоченности почв. Этот показатель не зависит от погодных условий, влажности почвы, не меняется при ее обработке и незначительном изменении гранулометрического состава. Вместе с тем абсолютные значения этого показателя существенно изменяются в зависимости от генезиса и состава почвообразующих пород и почв.

Таким образом, коэффициенты заболоченности дают возможность количественно оценить степень гидроморфизма почвенного профиля и, используя несложные аналитические методы, объективно судить о целесообразности дренажа и агроэкологических особенностях почв в тех случаях, когда степень заболоченности последних установлена на основе исследования их гидрологического режима и продуктивности районированных сельскохозяйственных культур в годы разной влажности

5.5. Аналитическая диагностика степени заболоченности почв на кислых, нейтральных и выщелоченных породах

Основой диагностики минеральных гидроморфных почв является комплексный анализ трех параметров — их водного режима, продуктивности сельскохозяйственных культур и поведения металлов с пе-

ременной валентностью (прежде всего железа) при смене анаэробных и аэробных условий. Оценка двух первых параметров приведена ниже. Здесь остановимся на рассмотрении методов аналитической количественной оценки содержания различных форм железа в почвах и их новообразованиях. Очевидно, что задача диагностики заболоченных почв должна решаться с привлечением различных методов определения разных форм железа. На основе выполненных в разные годы исследований можно предложить следующую систему методов количественной диагностики гидроморфных почв, исхода из их генезиса, морфологического строения и других особенностей (табл. 5.5). Эти рекомендации предполагают количественное аналитическое определение степени заболоченности почв на основе применения 1 н. H_2SO_4 для определения коэффициента заболоченности почв ($K_з$ = Fe/Mn) по содержанию этих элементов в ортштейнах, а также по содержанию в почвах и их новообразованиях железа несиликатных соединений по методу Мера и Джексона (1963); «аморфного» или «оксалаторастворимых» соединений железа по методу Тамма; железа, связанного с органическим веществом почвы по методу Баскомба[1] (1968).

5.5.1. Определение железа несиликатных соединений по методу Мера-Джексона

С точностью до 0,0001 г взвешивают 0,5–2,0 г почвы, просеянной сквозь сито с диаметром отверстий 1 мм. Навеску помещают в центрифужную пробирку (или колбу) вместимостью 50 мл, приливают 20 мл 0,3 М раствора цитрата натрия и 2,5 мл 1 М раствора гидрокарбоната натрия. Содержимое пробирки перемешивают круговыми движениями и нагревают на водяной бане до 80°С. Затем вносят 0,5 г сухого порошка дитионита натрия, пробирку непрерывно встряхивают одну минуту, после чего ее содержимое периодически перемешивают стеклянной палочкой в течение 15 минут, поддерживая температуру 80–85°С. По истечении 15 минут в пробирку добавляют 5 мл насыщенного раствора NaCl, перемешивают и выдерживают на

[1] Определение железа методами Мера и Джексона, Тамма и Баскомба, а также «Система показателей группового состава соединений железа в почве» приведены по тексту Глебовой Г.И. (глава 10, разделы 10.1.1–10.1.4) монографии «Теория и практика химического анализа почв», опубликованной в 2006 г. под редакцией профессора Л.А. Воробьевой.

Таблица 5.5

Методы количественной оценки степени заболоченности минеральных почв по химическим свойствам их мелкозема, конкреционных и неконкреционных новообразований

Группа почв, строение профиля и свойства почвообразующих пород	Объект анализа		Количественный параметр заболоченности				
			$\frac{Fe}{Mn}$	$\frac{(Fe_{dr} - Fe_{dh}) \cdot 100}{Fe_{dr}}$	$\frac{Fe_o}{Fe_d}$	$\frac{Fe_o}{(Fe_d - Fe_o)}$	$\frac{Fe_o}{Fe_p}$
	горизонт	новообразования	1 н. H_2SO_4 вытяжка	Fe_o — по Тамму, Fe_d — по Меру и Джексону			Fe_p — по Баскомбу
			К заболоченности	DG — степень оглеения	критерий Швертмана степени гидроморфизма почв		
1. Почвы с элювиально-иллювиальным профилем на кислых и нейтральных суглинистых и глинистых породах	A_n (слой 0–10 см); A_1A_2 B_1, B_2	ортштейны	+	+	–	–	–
		кутаны (илистая фракция)	–	+	–	–	–
2. Почвы легкие с элювиально-иллювиальным профилем на маломощном двучлене (легкий нанос менее 60 см)	Ап (слой 0–10 см); A_1A_2 B_1, B_2	ортштейны	+	+	–	–	–
		кутаны (илистая фракция)	–	+	–	–	–
3. Почвы легкие с элювиально-иллювиальным профилем на среднемощном двучлене (легкий нанос 60–120 см)	верхняя кровля суглинисто-глинистых отложений	аморфные соединения железа (мелкозем)	–	–	+	+	–

Продолжение таблицы 5.5

Группа почв, строение профиля и свойства почвообразующих пород	Объект анализа		Количественный параметр заболоченности				
	горизонт	новообразования	$\frac{Fe}{Mn}$	$\frac{(Fe_{dr} - Fe_{dh}) \cdot 100}{Fe_{dr}}$	$\frac{Fe_o}{Fe_d}$	$\frac{Fe_o}{(Fe_d - Fe_o)}$	$\frac{Fe_o}{Fe_p}$
			1 н. H_2SO_4 вытяжка	Fe_o — по Тамму, Fe_d — по Меру и Джексону			Fe_p — по Баскомбу
			К заболоченности	DG — степень оглеения	критерий Швертмана степени гидроморфизма почв		
4. Почвы легкие с недифференцированным и элювиально-иллювиальным профилем на однородных песчано-супесчаных отложениях	A1A2	аморфные соединения железа (мелкозем)	–	–	+	+	–
5. Почвы суглинистые и глинистые с недифференцированным профилем на глинистом элювии карбонатных пород	выщелоченный поверхностный слой подпахотного горизонта или гор. B1 (верхний слой мощностью 0–5 см)	аморфные соединения железа (мелкозем)	–	–	–	–	+

водяной бане еще 5–10 минут до образования хлопьевидного осадка. При анализе почв, богатых аллофанами (например, иллювиальных горизонтов иллювиально-железистых подзолов), совместно с NaCl добавляют 5 мл ацетона (Осторожно! Легко воспламеняется!). Затем проводят центрифугирование в течение 5–10 минут при 3000 об/мин. Надосадочную жидкость сливают (если необходимо, фильтруют для отделения всплывших корней) в мерную колбу вместимостью 250 мл. Фильтрат должен быть прозрачным. В противном случае проводят повторное центрифугирование или используют суперцентрифугу. Оставшуюся в пробирке почву обрабатывают теми же реагентами еще 2 раза при тщательном размешивании содержимого пробирки и собирают центрифугаты в ту же самую мерную колбу. После охлаждения содержимое мерной колбы доводят дистиллированной водой до метки и тщательно перемешивают.

Извлечение «свободного» железа может быть проведено без центрифугирования. В этом случае рекомендуется к почвенной суспензии, содержащей дитионит и цитрат натрия, добавлять флокулянты — органические вещества, способствующие коагуляции коллоидов в виде рыхлых хлопьевидных агрегатов — флокул. И в этом случае железо определяют в надосадочной жидкости без предварительного фильтрования или центрифугирования суспензии.

Концентрацию железа в полученных растворах определяют атомно-абсорбционным или фотометрическим методами.

Атомно-абсорбционное определение железа может быть проведено в пламени ацетилен–воздух. Оптическую плотность измеряют при длине волны 248,3 нм. Оптимальная область концентраций 1–50 мкг/мл. Если испытуемые растворы имеют более высокую концентрацию железа, их разбавляют, если более низкую, их концентрируют или применяют непламенный вариант атомно-абсорбционного метода с использованием графитовой кюветы.

Для построения калибровочного графика зависимости оптической плотности от концентрации железа в растворе из вторичного стандартного раствора (см. раздел «реагенты») готовят серию рабочих стандартных растворов. Для этого в 5 мерных колб вместимостью по 100 мл из бюретки приливают необходимый объем вторичного стандартного раствора. Затем объем жидкости в колбах доводят до метки тем экстрагирующим раствором, которым извлекали железо из почвы, и тщательно перемешивают. Измеряют оптические плотности

стандартных растворов и строят график зависимости оптических плотностей от концентраций железа в рабочих стандартных растворах в координатах: оптическая плотность (ось ординат) — концентрация железа (мгк/мл, ось абсцисс). Измерив оптические плотности испытуемых растворов, по калибровочному графику находят концентрации в них железа (табл. 5.6).

Таблица 5.6

Пример построения серии рабочих стандартных растворов

№ колбы	Объем вторичного стандартного раствора, мл	Концентрация Fe, мкг/мл
1	1,0	1,0
2	2,5	2,5
3	5,0	5,0
4	10,0	10,0
5	20,0	20,0

При фотометрическом определении железа проводят разрушение органических веществ 3–5 каплями 30%-ного раствора пероксида водорода или смесью концентрированных H_2SO_4, $HN0_3$, $HClO_4$ в соотношении 1 : 10 : 4. С этой целью аликвоту анализируемого раствора 5–10 мл переносят в фарфоровую чашку, добавляют смесь кислот, упаривают на кипящей водяной бане до осветления раствора. Затем содержимое чашечки по стеклянной палочке количественно, фильтруя через фильтр синяя лента, переносят в мерную колбу вместимостью 50 или 100 мл дистиллированной водой.

В мерную колбу добавляют 5 мл 25%-ного раствора сульфосалициловой кислоты и 25%-ный раствор аммиака до появления устойчивой желтой окраски и слабого запаха аммиака. Затем в колбу приливают еще 1 мл аммиака, содержимое колбы доводят до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивают. Если в почвах много марганца, то для предотвращения его выпадения при подщелачивании в раствор предварительно добавляют гидроксиламин солянокислый на кончике стеклянной лопаточки. Через 30 мин измеряют оптическую плотность в области длин волн 420–430 нм.

Одновременно готовят шкалу рабочих стандартных растворов с содержанием железа в пределах 0,01–0,10 мг в объеме мерной колбы (с интервалом 0,02 мг), прибавляя в них те же реагенты, что и в анализируемые растворы. Определяют оптическую плотность стандар-

тных и испытуемых растворов. Строят калибровочный график зависимости оптической плотности стандартных растворов от концентрации в них железа и по оптической плотности испытуемых растворов определяют с помощью этого графика концентрацию железа.

Схема анализа и расчета.

m (навеска почвы, г) → V_0 (объем фильтрата, мл) → $V_{ал}$ (аликвота, мл) → V (объем мерной колбы, мл) и c — концентрация Fe, мкг/ мл

Расчет проводят по уравнению:

$$\text{Fe},\% = \frac{c \cdot V \cdot V_o \cdot 100}{V_{ал} \cdot m \cdot 10^6} \qquad (47)$$

Реагенты:

1. 0,3 М раствор цитрата натрия — 88 г $Na_3C_6H_5O_7 \cdot 2H_2O$ (или 107,2 г $Na_3C_6H_5O_7 \cdot 5{,}5H_2O$) растворяют в дистиллированной воде, объем раствора доводят до 1 л.
2. 1 М раствор гидрокарбоната натрия — 84 г $NaHCO_3$ растворяют в 1 л дистиллированной воды
3. Насыщенный раствор хлорида натрия — 400 г NaCl растворяют в 1 л дистиллированной воды.
4. 30%-ный раствор пероксида водорода — H_2O_2.
5. Дитионит натрия — $Na_2S_2CO_4 \cdot 2H_2O$.
6. Концентрированные кислоты: серная (H_2SO_4), плотность 1,84 г/см^3; азотная (HNO_3), плотность 1,4 г/см^3; хлорная ($HClO_4$), плотность 1,54 г/см^3.
7. 25%-ный раствор сульфосалициловой кислоты — 25 г $C_7H_6O_6S \cdot H_2O$ растворяют в 100 мл дистиллированной воды. Раствор хранят в темной склянке с притертой пробкой.
8. 25%-ный раствор аммиака (плотность 0,907 г/см^3), не содержащий CO_2.
9. Стандартные растворы железа.

Стандартные растворы железа могут быть приготовлены из различных исходных веществ с добавлением разных кислот. Для фотометрических определений они могут быть приготовлены на серной кислоте, тогда как для атомно-абсорбционных определений их готовят на азотной кислоте. Стандартные растворы могут быть приготовлены из ГСО или из металлического железа высокой чистоты.

Для атомно-абсорбционного метода их готовят более разбавленными, чем при применении фотометрического метода [Обухов, Плеханова, 1991]. 1,0000 г металлического железа растворяют в разбавленной 1 : 1 азотной кислоте в химическом стеклянном стакане. Растворение протекает длительно; если необходимо, то содержимое стакана подогревают на плитке. После полного растворения раствор переносят количественно в мерную колбу вместимостью 1 литр и объем жидкости в колбе доводят до метки бидистиллированной водой. Полученный первичный стандартный раствор содержит 1 мг железа в 1 мл раствора. Из этого раствора готовят вторичный стандартный раствор, разбавив первичный в 10 раз. Для этого берут пипеткой 50 мл первичного стандартного раствора и помещают в мерную колбу вместимостью 500 мл, доводят объем раствора бидистиллированной водой до метки и тщательно перемешивают. Вторичный стандартный раствор содержит 100 мкг железа в 1 мл раствора.

5.5.2. Определение железа «аморфных» (оксалаторастворимых) соединений по методу Тамма

В составе несиликатных соединений железа экспериментально определяют железо аморфных соединений по методу Тамма, а по разности между содержанием железа несиликатных и аморфных соединений находят содержание железа окристаллизованных соединений.

Следует отметить, что выделение в составе несиликатных соединений железа аморфных и окристаллизованных соединений условно. Реактивом Тамма извлекаются не только аморфные, но и окристаллизованные соединения железа. Поэтому более корректно называть эту группу соединений железа «оксалаторастворимой», как это принято в англоязычной литературе. Железо, извлекаемое из почв методом Тамма, целесообразно называть «оксалаторастворимым», или «аморфным», ставя слово в кавычки.

По методу Тамма железо рекомендуется извлекать из почвы в темноте, чтобы предотвратить фотохимическое восстановление Fe (III). В России практикуется экстрагирование железа из почв на свету, что может приводить к получению завышенных результатов.

Навеску почвы, просеянной через сито с диаметром отверстий 1 мм, массой около 1 г, взятой с точностью до 0,0001 г, помещают в плоскодонную колбу вместимостью 250 мл и заливают 50 мл буферного раствора Тамма. Колбу закрывают пробкой и взбалтывают в те-

чение 1 часа. Затем суспензию по стеклянной палочке фильтруют через сухой фильтр (синяя лента) в мерную колбу вместимостью 250 мл. Для получения прозрачного раствора первые порции фильтрата несколько раз перефильтровывают. По окончании фильтрования фильтр с почвой вновь помещают в плоскодонную колбу с остатками почвы и повторяют вышеописанную обработку почвы раствором Тамма. Суспензию фильтруют в ту же мерную колбу, что и после первой обработки, а почву на фильтре промывают дистиллированной водой, подкисленной щавелевой кислотой. При высоком содержании аморфных соединений железа в почве рекомендуется провести и третью обработку навески почвы реактивом Тамма.

При анализе карбонатных почв [Аринушкина, 1970] рекомендуют предварительно разрушать карбонаты и декальцировать почву 2%-ным раствором уксусной кислоты.

При атомно-абсорбционном определении объем жидкости в мерной колбе с прозрачными фильтратами перемешивают, доводят до метки дистиллированной водой, снова перемешивают и определяют концентрацию железа в растворе. Серию стандартных растворов рекомендуется готовить на реактиве Тамма.

Фотометрическое определение железа в вытяжке Тамма. При фотометрическом определении железа необходимо разрушить оксалат-ионы и перешедшие в раствор органические вещества. В этом случае объединенные фильтраты количественно, по стеклянной палочке переносят из мерной колбы в фарфоровую чашку, споласкивают колбу водой, собирая промывные воды в чашку, и выпаривают досуха на водяной бане в вытяжном шкафу. Поскольку образующийся сухой остаток отличается большой ползучестью, чашку заполняют раствором не более чем на половину ее объема и по мере выпаривания раствор подливают. Края чашки смазывают небольшим количеством вазелина во избежание потерь осадка при выпаривании. Затем чашку с сухим остатком прокаливают сначала на газовой горелке до прекращения дымления, а затем в муфельной печи при температуре 400–500°С в течение 3–5 минут до перехода черной окраски осадка в коричневую. После этого в охлажденную чашку приливают 10 мл концентрированной соляной кислоты, закрывают покровным стеклом и оставляют на ночь или нагревают на водяной бане до растворения осадка.

Затем содержимое чашки фильтруют по стеклянной палочке через воронку с фильтром (белая лента) в мерную колбу вместимостью

стандартных растворов и строят график зависимости оптических плотностей от концентраций железа в рабочих стандартных растворах в координатах: оптическая плотность (ось ординат) — концентрация железа (мгк/мл, ось абсцисс). Измерив оптические плотности испытуемых растворов, по калибровочному графику находят концентрации в них железа (табл. 5.6).

Таблица 5.6

Пример построения серии рабочих стандартных растворов

№ колбы	Объем вторичного стандартного раствора, мл	Концентрация Fe, мкг/мл
1	1,0	1,0
2	2,5	2,5
3	5,0	5,0
4	10,0	10,0
5	20,0	20,0

При фотометрическом определении железа проводят разрушение органических веществ 3–5 каплями 30%-ного раствора пероксида водорода или смесью концентрированных H_2SO_4, $HN0_3$, $HClO_4$ в соотношении 1 : 10 : 4. С этой целью аликвоту анализируемого раствора 5–10 мл переносят в фарфоровую чашку, добавляют смесь кислот, упаривают на кипящей водяной бане до осветления раствора. Затем содержимое чашечки по стеклянной палочке количественно, фильтруя через фильтр синяя лента, переносят в мерную колбу вместимостью 50 или 100 мл дистиллированной водой.

В мерную колбу добавляют 5 мл 25%-ного раствора сульфосалициловой кислоты и 25%-ный раствор аммиака до появления устойчивой желтой окраски и слабого запаха аммиака. Затем в колбу приливают еще 1 мл аммиака, содержимое колбы доводят до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивают. Если в почвах много марганца, то для предотвращения его выпадения при подщелачивании в раствор предварительно добавляют гидроксиламин солянокислый на кончике стеклянной лопаточки. Через 30 мин измеряют оптическую плотность в области длин волн 420–430 нм.

Одновременно готовят шкалу рабочих стандартных растворов с содержанием железа в пределах 0,01–0,10 мг в объеме мерной колбы (с интервалом 0,02 мг), прибавляя в них те же реагенты, что и в анализируемые растворы. Определяют оптическую плотность стандар-

тных и испытуемых растворов. Строят калибровочный график зависимости оптической плотности стандартных растворов от концентрации в них железа и по оптической плотности испытуемых растворов определяют с помощью этого графика концентрацию железа.

Схема анализа и расчета.

m (навеска почвы, г) → V_0 (объем фильтрата, мл) → $V_{ал}$ (аликвота, мл) → V (объем мерной колбы, мл) и c — концентрация Fe, мкг/ мл

Расчет проводят по уравнению:

$$\text{Fe},\% = \frac{c \cdot V \cdot V_o \cdot 100}{V_{ал} \cdot m \cdot 10^6} \qquad (47)$$

Реагенты:

1. 0,3 М раствор цитрата натрия — 88 г $Na_3C_6H_5O_7 \cdot 2H_2O$ (или 107,2 г $Na_3C_6H_5O_7 \cdot 5{,}5H_2O$) растворяют в дистиллированной воде, объем раствора доводят до 1 л.
2. 1 М раствор гидрокарбоната натрия — 84 г $NaHCO_3$ растворяют в 1 л дистиллированной воды
3. Насыщенный раствор хлорида натрия — 400 г NaCl растворяют в 1 л дистиллированной воды.
4. 30%-ный раствор пероксида водорода — H_2O_2.
5. Дитионит натрия — $Na_2S_2CO_4 \cdot 2H_2O$.
6. Концентрированные кислоты: серная (H_2SO_4), плотность 1,84 г/см^3; азотная (HNO_3), плотность 1,4 г/см^3; хлорная ($HClO_4$), плотность 1,54 г/см^3.
7. 25%-ный раствор сульфосалициловой кислоты — 25 г $C_7H_6O_6S \cdot H_2O$ растворяют в 100 мл дистиллированной воды. Раствор хранят в темной склянке с притертой пробкой.
8. 25%-ный раствор аммиака (плотность 0,907 г/см^3), не содержащий CO_2.
9. Стандартные растворы железа.

Стандартные растворы железа могут быть приготовлены из различных исходных веществ с добавлением разных кислот. Для фотометрических определений они могут быть приготовлены на серной кислоте, тогда как для атомно-абсорбционных определений их готовят на азотной кислоте. Стандартные растворы могут быть приготовлены из ГСО или из металлического железа высокой чистоты.

Для атомно-абсорбционного метода их готовят более разбавленными, чем при применении фотометрического метода [Обухов, Плеханова, 1991]. 1,0000 г металлического железа растворяют в разбавленной 1 : 1 азотной кислоте в химическом стеклянном стакане. Растворение протекает длительно; если необходимо, то содержимое стакана подогревают на плитке. После полного растворения раствор переносят количественно в мерную колбу вместимостью 1 литр и объем жидкости в колбе доводят до метки бидистиллированной водой. Полученный первичный стандартный раствор содержит 1 мг железа в 1 мл раствора. Из этого раствора готовят вторичный стандартный раствор, разбавив первичный в 10 раз. Для этого берут пипеткой 50 мл первичного стандартного раствора и помещают в мерную колбу вместимостью 500 мл, доводят объем раствора бидистиллированной водой до метки и тщательно перемешивают. Вторичный стандартный раствор содержит 100 мкг железа в 1 мл раствора.

5.5.2. Определение железа «аморфных» (оксалаторастворимых) соединений по методу Тамма

В составе несиликатных соединений железа экспериментально определяют железо аморфных соединений по методу Тамма, а по разности между содержанием железа несиликатных и аморфных соединений находят содержание железа окристаллизованных соединений.

Следует отметить, что выделение в составе несиликатных соединений железа аморфных и окристаллизованных соединений условно. Реактивом Тамма извлекаются не только аморфные, но и окристаллизованные соединения железа. Поэтому более корректно называть эту группу соединений железа «оксалаторастворимой», как это принято в англоязычной литературе. Железо, извлекаемое из почв методом Тамма, целесообразно называть «оксалаторастворимым», или «аморфным», ставя слово в кавычки.

По методу Тамма железо рекомендуется извлекать из почвы в темноте, чтобы предотвратить фотохимическое восстановление Fe (III). В России практикуется экстрагирование железа из почв на свету, что может приводить к получению завышенных результатов.

Навеску почвы, просеянной через сито с диаметром отверстий 1 мм, массой около 1 г, взятой с точностью до 0,0001 г, помещают в плоскодонную колбу вместимостью 250 мл и заливают 50 мл буферного раствора Тамма. Колбу закрывают пробкой и взбалтывают в те-

чение 1 часа. Затем суспензию по стеклянной палочке фильтруют через сухой фильтр (синяя лента) в мерную колбу вместимостью 250 мл. Для получения прозрачного раствора первые порции фильтрата несколько раз перефильтровывают. По окончании фильтрования фильтр с почвой вновь помещают в плоскодонную колбу с остатками почвы и повторяют вышеописанную обработку почвы раствором Тамма. Суспензию фильтруют в ту же мерную колбу, что и после первой обработки, а почву на фильтре промывают дистиллированной водой, подкисленной щавелевой кислотой. При высоком содержании аморфных соединений железа в почве рекомендуется провести и третью обработку навески почвы реактивом Тамма.

При анализе карбонатных почв [Аринушкина, 1970] рекомендуют предварительно разрушать карбонаты и декальцировать почву 2%-ным раствором уксусной кислоты.

При атомно-абсорбционном определении объем жидкости в мерной колбе с прозрачными фильтратами перемешивают, доводят до метки дистиллированной водой, снова перемешивают и определяют концентрацию железа в растворе. Серию стандартных растворов рекомендуется готовить на реактиве Тамма.

Фотометрическое определение железа в вытяжке Тамма. При фотометрическом определении железа необходимо разрушить оксалат-ионы и перешедшие в раствор органические вещества. В этом случае объединенные фильтраты количественно, по стеклянной палочке переносят из мерной колбы в фарфоровую чашку, споласкивают колбу водой, собирая промывные воды в чашку, и выпаривают досуха на водяной бане в вытяжном шкафу. Поскольку образующийся сухой остаток отличается большой ползучестью, чашку заполняют раствором не более чем на половину ее объема и по мере выпаривания раствор подливают. Края чашки смазывают небольшим количеством вазелина во избежание потерь осадка при выпаривании. Затем чашку с сухим остатком прокаливают сначала на газовой горелке до прекращения дымления, а затем в муфельной печи при температуре 400–500°С в течение 3–5 минут до перехода черной окраски осадка в коричневую. После этого в охлажденную чашку приливают 10 мл концентрированной соляной кислоты, закрывают покровным стеклом и оставляют на ночь или нагревают на водяной бане до растворения осадка.

Затем содержимое чашки фильтруют по стеклянной палочке через воронку с фильтром (белая лента) в мерную колбу вместимостью

200–250 мл. Осадок SiO_2, остающийся на фильтре, промывают дистиллированной водой, слегка подкисленной соляной кислотой (3 капли концентрированной кислоты на 100 мл воды) до потери реакции на железо (проба с роданидом). Количество осадка на фильтре можно определить гравиметрическим методом после его прокаливания и рассчитать массовую долю SiO_2, извлеченного реактивом Тамма.

К раствору в мерной колбе добавляют аммиак и сульфосалициловую кислоту (как это описано в методе Мера-Джексона), объем раствора в колбе доводят до метки дистиллированной водой, перемешивают и концентрацию железа в растворе определяют фотометрически.

Согласно Е.В. Аринушкиной [1970], разрушить щавелевую кислоту и органические вещества, перешедшие из почвы в вытяжку Тамма, можно трехкратной обработкой сухого остатка в чашке царской водкой или концентрированной азотной кислотой и 30%-ным раствором пероксида водорода с последующим выпариванием содержимого чашки досуха. После полного разрушения органического вещества в чашку приливают 2–3 мл концентрированной HCl, добавляют 20–30 мл горячей дистиллированной воды, выдерживают на горячей водяной бане 5–15 минут. Содержимое чашки фильтруют через фильтр с синей лентой в мерную колбу вместимостью 200–250 мл. Осадок на фильтре промывают горячим 1%-ным раствором HCl. Осадок прокаливают и определяют содержание SiO_2, извлеченного из почв реактивом Тамма, а фильтрат доводят до метки дистиллированной водой, перемешивают и определяют концентрацию железа в вытяжке Тамма сульфосалициловым фотометрическим или атомно-абсорбционным методами (см. метод Мера-Джексона, раздел 10.1.1).

Поскольку процедура выпаривания оксалатной вытяжки весьма неудобна в связи с ползучестью остатка Е.В. Аринушкина [1970] предложила способ фотометрического определения железа в вытяжке Тамма без ее выпаривания. В этом случае объединенные фильтраты вытяжки Тамма собирают в мерную колбу и содержимое колбы доводят до метки дистиллированной водой, перемешивают. Аликвоту раствора (20 мл) переносят в термостойкий стакан вместимостью 100–150 мл, приливают к ней 10 мл 10%-ного раствора H_2SO_4 и нагревают до 80°С. В горячий раствор небольшими порциями добавляют 1 н. раствор $KMnO_4$ до появления бурых хлопьев гидроксида марганца, при этом щавелевая кислота и органические вещества почвы в вытяжке окисляются перманганатом калия. Затем в стакан

приливают 0,05 н. раствор щавелевой кислоты до полного растворения осадка гидроксида марганца. Содержимое стакана вновь нагревают до 80°С и по каплям прибавляют 0,05 н. раствор $KMnO_4$ до слабо розовой окраски раствора, не исчезающей в течение 1 мин. В полученном растворе определяют концентрацию железа фотометрическим сульфосалициловым методом [Аринушкина, 1970].

Расчет содержания оксалаторастворимого железа проводят по тем же уравнениям, что и расчет содержания железа несиликатных соединений (см. раздел 5.1.1).

Реагенты.

1. Буферный раствор Тамма — 0,14 М по $H_2C_2O_4$ и 0,20 М по $(NH_4)_2C_2O_4$. В 2,5 л дистиллированной воды растворяют 31,5 г щавелевой кислоты ($H_2C_2O_4$) и 62,05 г $(NH_4)_2C_2O_4$ или 71,06 г $(NH_4)_2C_2O_4 \cdot H_2O$, pH раствора — 3,2–3,3.
2. HCl (плотность 1,19 г/см^3), проверенная на отсутствие железа.
3. 30%-ный H_2O_2.
4. HNO_3 (плотность 1,4 г/см^3).
5. Царская водка — смесь концентрированных HNO_3 и HCl в объемном соотношении 1 : 3.
6. 10%-ный раствор H_2S0_4 — 60,6 мл концентрированной серной кислоты осторожно, по стенке термостойкой колбы при перемешивании приливают к 700 мл дистиллированной воды и доводят объем раствора до 1 л дистиллированной водой.
7. 1%-ный раствор H_2SO_4 — 5,6 мл концентрированной H_2SO_4 (плотность 1,84 г/см^3) постепенно приливают к 600–700 мл дистиллированной воды при перемешивании, затем доводят объем раствора до 1 л дистиллированной водой.
8. 1 М ($^1/_6$ $KMnO_4$) или 1 н. раствор $KMnO_4$. 32 г перманганата калия растворяют в 1 литре дистиллированной воды. Раствор должен отстояться, и затем его фильтруют через стеклянную вату. Хранят раствор в бутылях из темного стекла. Нельзя допускать соприкосновения раствора с корковой или резиновой пробкой.
9. 0,05 н. $KMnO_4$ получают разбавлением в 20 раз 1 н. раствора $KMnO_4$.
10. 0,05 н. $H_2C_2O_4$. 15,75 г щавелевой кислоты растворяют в дистиллированной воде, доводят объем раствора до 1 л. Другие реагенты см. в разделе 5.5.1.

5.5.3. Определение железа, связанного с органическим веществом, по методу Баскомба

Основу метода Баскомба составляет последовательная обработка навески почвы сначала пирофосфатом калия, а затем гидросульфитом натрия в ацетатном буферном растворе с pH 3,8. Этот метод используют, главным образом, для определения соединений железа, связанных с органическим веществом почвы.

По методу Баскомба железо, связанное с органическим веществом, извлекают 0,1 М раствором пирофосфата калия с pH 10. Однако при этом из почвы извлекается не только железо, связанное с органическим веществом почвы, но частично и свежеобразованные, наиболее растворимые гидроксиды железа. Железо, извлекаемое 0,1 М раствором $K_2P_2O_7$, называют «экстрагируемым».

Недостаточная селективность 0,1 М раствора пирофосфата калия по отношению к железу, входящему в состав органических веществ, приводит иногда, при расчетах по разности, к получению результата с отрицательным знаком.

Методика определения «экстрагируемого» железа. В центрифужную пробирку вместимостью 100 мл помещают 0,5 г воздушно-сухой почвы, просеянной через сито с диаметром отверстий 1 мм, взятой с точностью 0,0001 г. В пробирку приливают 50 мл 0,1 М раствора пирофосфата калия, суспензию тщательно перемешивают и оставляют на ночь в условиях комнатной температуры. Равновесного состояния в это время не достигается, но наиболее интенсивный переход железа в раствор наблюдается в первые 20 часов настаивания. На следующее утро суспензию центрифугируют в течение 5–10 минут при скорости 3000 об/мин. Центрифугат должен быть прозрачным. Если он мутный, то процедуру центрифугирования повторяют, добиваясь прозрачности раствора. Если необходимо, можно раствор профильтровать через фильтр с белой или синей лентой.

Центрифугат сливают в мерную колбу, а почву заливают 50 мл дистиллированной воды, перемешивают стеклянной палочкой и вновь центрифугируют в том же режиме. Прозрачный центрифугат сливают в ту же мерную колбу. Содержимое колбы доводят до метки дистиллированной водой, тщательно перемешивают и в полученном растворе определяют концентрацию железа ($Fe_{экстр}$) атомно-абсорбционным или фотометрическим методами.

Навеску почвы, из которой извлекли железо пирофосфатом калия, в дальнейшем используют для определения так называемого «остаточного» железа ($Fe_{ост}$) с помощью дитионита натрия.

При определении в растворе концентрации железа фотометрическим методом предварительно разрушают органические вещества. Для этого 5–20 мл пирофосфатной вытяжки помещают в фарфоровую чашку, добавляют по несколько капель разбавленной 1 : 1 азотной кислоты и 30%-ного раствора пероксида водорода, затем выпаривают досуха на водяной бане. Если содержимое чашки не обесцветилось, то обработку повторяют несколько раз до исчезновения окраски органического вещества. Затем содержимое чашки растворяют в дистиллированной воде и количественно переносят с помощью стеклянной палочки через воронку с фильтром (синяя лента) в мерную колбу вместимостью 50 мл, фильтр промывают дистиллированной водой. В мерную колбу к раствору добавляют необходимые реагенты для определения концентрации железа сульфосалицилатным фотометрическим методом, доводят объем раствора до метки дистиллированной водой, перемешивают и определяют концентрацию железа в растворе.

Определение «растворимого» и «осаждаемого» железа. В пирофосфатной вытяжке, помимо общего содержания «экстрагируемого» железа ($Fe_{экстр}$), определяют раздельно так называемое «растворимое» ($Fe_{раств}$) и «осаждаемое» ($Fe_{осажд}$) железо.

Для определения «растворимого» железа 5 мл пирофосфатной вытяжки помещают в центрифужную пробирку вместимостью 50 мл, добавляют 5 мл 0,9 М раствора аммиака, перемешивают и центрифугируют. На дне пробирки концентрируется бурый осадок (иногда осадок при добавлении аммиака не образуется). Из надосадочной жидкости отбирают пипеткой 2 мл раствора, переносят в мерную колбу вместимостью 50 или 100 мл, доводят до метки дистиллированной водой и определяют концентрацию железа атомно-абсорбционным методом. Если же концентрацию железа предполагается определить фотометрическим методом, то отобранные пипеткой 2 мл раствора переносят в фарфоровую чашку для выпаривания и разрушения органического вещества несколькими каплями разбавленной 1 : 1 азотной кислоты и 30%-ного раствора пероксида водорода. Если необходимо, обработку повторяют несколько раз до исчезновения окраски от органического вещества. Затем содержимое чашки рас-

творяют в дистиллированной воде, переносят с помощью стеклянной палочки и воронки с фильтром (синяя лента) в мерную колбу вместимостью 50 мл, промывают фильтр дистиллированной водой, добавляют необходимые реагенты для определения железа сульфосалицилатным методом, доводят объем раствора в колбе до метки дистиллированной водой, перемешивают и определяют концентрацию «растворимого» железа так же, как при определении «экстрагируемого» железа.

Количество «осаждаемого» железа ($Fe_{осажд}$) рассчитывают по разности:

$$Fe_{осажд} = Fe_{экстр} - Fe_{раств} \quad (48)$$

Определение «остаточного» железа. После того, как из навески почвы пирофосфатом калия извлекли «экстрагируемое» железо, в остатке почвы определяют «остаточное» железо ($Fe_{ост}$). Для этого к остатку почвы в пробирке приливают 50 мл буферного раствора ацетата натрия (pH 3,8) и вносят 2 г дитионита натрия. Пробирку сразу закрывают пробкой, ее содержимое взбалтывают 3 часа и оставляют на ночь. Утром центрифугируют 20 мин при скорости 3000 об/мин. Центрифугат должен быть прозрачным. В аликвоте центрифугата (5 мл) определяют концентрацию железа ($Fe_{ост}$) атомно-абсорбционным или фотометрическим методом, как и при определении «экстрагируемого» железа.

Схема анализа и расчета.

m (навеска почвы, г) $\rightarrow V_0$ (общий объем вытяжки, мл), $\rightarrow Vал$ (аликвота, мл) $\rightarrow V_к \cdot c$ (объем и концентрация железа в фотометрируемом растворе, мкг/мл).

Расчет проводят по уравнению:

$$Fe,\% = \frac{c \cdot V_к \cdot V_о \cdot 100}{V_{ал} \cdot m \cdot 10^6} \quad (49)$$

Реагенты.

1. 0,1 М раствор пирофосфата калия. 38,4 г $K_2P_2O_7 \cdot 3H_2O$ или 33 г $K_2P_2O_7$ растворяют в дистиллированной воде, объем раствора доводят до 1 л.
2. 0,9 М раствор аммиака. В мерную колбу вместимостью 1 л наливают 500 мл дистиллированной воды и 67 мл концентрированного аммиака (с массовой долей 25%), содержимое колбы

перемешивают, доливают дистиллированной водой до метки и снова перемешивают.

3. Ацетатный буферный раствор с pH = 3,8. Смешивают 843 мл 1 М раствора уксусной кислоты со 100 мл 1 М раствора NaOH, доводят объем раствора до 1 л дистиллированной водой.

Для приготовления 1М раствора CH_3COOH 60 мл ледяной уксусной кислоты (плотность 1,05 г/см^3) разбавляют дистиллированной до 1 л. Для приготовления 1 М раствора NaOH 20 г NaOH растворяют в 500 мл дистиллированной воды.

Приготовив ацетатный буферный раствор, проверяют его pH потенциометрическим методом, и, если он не совпадает с нужным значением, то устанавливают pH 3,8, добавляя по каплям уксусную кислоту или NaOH.

5.5.4. Система показателей группового состава соединений железа в почве

На основании полученных результатов анализов (включая определение валового содержания железа) расчетным путем находят содержание различных групп (групповой состав) соединений железа в почве.

1. Железо силикатных соединений ($Fe_с$) находят по разности между валовым содержанием железа ($Fe_{вал}$) и количеством железа несиликатных соединений ($Fe_{нс}$):

$$Fe_с = Fe_{вал} - Fe_{нс} \quad (50)$$

2. Железо несиликатных соединений ($Fe_{нс}$) определяют по методу Мера-Джексона.
3. Железо несиликатных окристаллизованных соединеий ($Fe_{нс\ окр}$) находят по разности между содержанием несиликатного и «аморфного» ($Fe_а$) железа, (последнее определяется по методу Тамма):

$$Fe_{нс\ окр} = Fe_{нс} - Fe_а \quad (51)$$

3а. Железо несиликатных сильноокристаллизованных соединений ($Fe_{нс\ сильноокр}$) находят по разности между содержанием несиликатного железа, определенного по методу Мера-Джексона, и железа, экстрагируемого пирофосфатом калия ($Fe_{экстр}$) и «остаточного» железа ($Fe_{ост}$):

$$Fe_{нс\ сильноокр} = Fe_{нс} - (Fe_{экстр} + Fe_{ост}) \quad (52)$$

3б. Железо несиликатных слабоокристаллизованных соединений ($Fe_{нс\ слабоокр}$) находят по разности между железом, определенным по методу Баскомба («экстрагируемое» пирофосфатом калия + «остаточное»), и «аморфным» железом, определенным по методу Тамма:

$$Fe_{нс\ слабоокр} = (Fe_{экстр} + Fe_{ост}) - Fe_a \quad (53)$$

4. Железо «аморфных» соединений (Fe_a) определяют по методу Тамма.

4а. Железо, связанное с органическим веществом, извлекают из почвы раствором пирофосфата калия по методу Баскомба, $Fe_{орг} = Fe_{экстр}$.

4б. Железо минеральных «аморфных» соединений ($Fe_{амин}$) находят по разности между содержанием железа «аморфных» соединений (определенных по методу Тамма) и железа, связанного с органическим веществом ($Fe_{экстр}$ по методу Баскомба):

$$Fe_{а\ мин} = Fe_a - Fe_{экстр} \quad (54)$$

5.5.5. Методы отбора образцов почв разного генезиса и состава для диагностики их степени заболоченности

Диагностика степени заболоченности минеральных почв Нечерноземной зоны — одна из центральных проблем картирования почв в мелиоративных, агрономических и лесохозяйственных целях, их экологической и экономической оценки. Не менее существенны и генетические аспекты ее эффективного решения. Можно утверждать, что ее значение в Нечерноземье столь же актуально, как и дифференциация, диагностика и классификация почв аридных, полуаридных и степных ландшафтов по степени засоления.

Сложность разработки диагностики и классификации почв по степени заболоченности заключается, однако, в том, что она, во-первых, индивидуальна для каждой мелиоративной группы почв. В каждом отдельном случае должны быть найдены специфические стабильные свойства, по которым возможна ее реализация в полевой и аналитической практике. Во-вторых, эта диагностика динамична, она может утратить свое значение при трансформации водного режима, в результате осуществления тех или иных мелиоративных мероприятий и в этом направлении потребуется дополнительный поиск.

Здесь изложена система методов, позволяющая количественно с диагностировать минеральные почвы по степени заболоченности. Остается лишь еще раз подчеркнуть необходимость индивидуального подхода не только при использовании системы рассмотренных методов, но и особенно при отборе образцов для выполнения аналитических работ. Как следует из изложенного, эти образцы могут быть представлены кутанами из иллювиальных горизонтов или ортштейнами верхнего десятисантиметрового слоя пахотного горизонта почв на однородных суглинистых или глинистых породах с элювиально-иллювиальным профилем; верхней кровлей суглинистых или глинистых контактных слоев в почвах на среднемощных (и мощных) двучленных породах; подпахотными горизонтами почв на карбонатных пермских суглинках и глинах и другими фрагментами почвенных профилей (рис. 5.1). Рассмотрим подробнее значение такого подхода.

Поскольку относительный вынос несиликатного железа отражает степень проявления оглеения [Зайдельман, 1974], именно кутаны в почвах с элювиально-иллювиальном строением профиля и, прежде всего, их илистая фракция оказываются зонами его наиболее интенсивного развития. При этом химические признаки оглеения могут проявляться в кутанах горизонтов, не несущих цветовых признаков оглеения вообще.

Это позволяет применить достаточно простой метод количественной диагностики степени оглеения. Его сущность заключается в оценке степени обезжелезнения илистой фракции исследуемого горизонта относительно илистой фракции почвообразующей породы. Степень обезжелезнения (или степень оглеения DG — *degree of gleyezation*) в этом случае может быть выражена в % и рассчитана по следующей формуле:

$$DG = \frac{Fe_{dr} - Fe_{dh}}{Fe_{dr}} \cdot 100, \qquad (55)$$

где Fe_{dr} — содержание несиликатного железа, извлекаемого дитионитовой вытяжкой Мера и Джексона из материнской породы;
Fe_{dh} — из илистой фракции исследуемого горизонта.

Накопление аморфной гидроокиси железа на фоне одновременного уменьшения содержания общего несиликатного железа и его окристаллизованных форм оказывается причиной увеличения соотношения же-

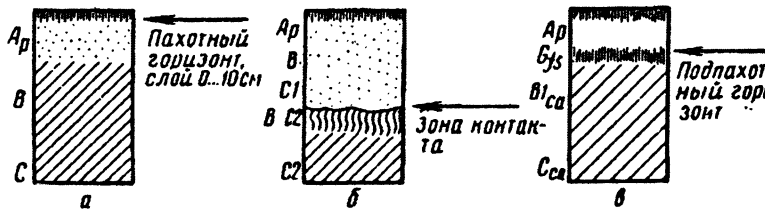


Рис. 5.1. **Зоны отбора проб почв для последующей количественной диагностики степени их заболоченности на почвообразующих породах разного генезиса. Почвы: *а* — суглинистые и глинистые кислые с элювиально-иллювиальным профилем; *б* — на среднемощном двучлене — легкий флювиогляциальный нанос на суглинистых и глинистых отложениях; *в* — на карбонатных пермских суглинках**

леза, извлекаемого оксалатной вытяжкой Тамма (Fe_o) к железу, извлекаемому вытяжкой Мера и Джексона (Fe_d). H.-P. Blume, U. Schwertmann (1969) предложили использовать отношение Fe_o/Fe_d для характеристики степени гидроморфизма почв. Более отчетливые проявления этой зависимости были получены при использовании модифицированного соотношения Швертмана $Fe_o/(Fe_d - Fe_o)$, т.е. отношения «аморфного» железа к «окристаллизованному». На примере дерново-подзолистых неоглеенных и дерново-подзолистых слабооглеенных, глееватых и глеевых почв на среднемощных двучленных отложениях нами [Зайдельман, Никифорова, 1986] была показана связь отношений Fe_o/Fe_d и $Fe_o/(Fe_d - Fe_o)$ со степенью заболоченности почв. Следует подчеркнуть, что наиболее информативные данные были получены при анализе контактного суглинистого горизонта морены, находящегося непосредственно под слоем песчаной толщи, поскольку именно этот слой является водоупорным горизонтом, на котором застаивается верховодка (рис. 5.2). Интенсивность оглеения верхнего суглинистого контактного горизонта морены отражает, таким образом, длительность застоя верховодки в профиле каждой почвенной разновидности. Поэтому именно этот контактный слой для почв на среднемощных двучленных отложениях (контактные зоны с песком моренных, ленточных, пермских и других суглинков и глин, перекрытые толщей флювиогляциального песка мощностью 60–120 см) является диагностическим.

Эти критерии могут быть использованы и для диагностики песчаных почв. Здесь соотношения Fe_o/Fe_d и $Fe_o/(Fe_d - Fe_o)$, определяемые содержанием аморфного и общего несиликатного железа, оказываются единственным источником количественной информации о степени их заболоченности, поскольку в их профиле отсутствуют ортштейны.

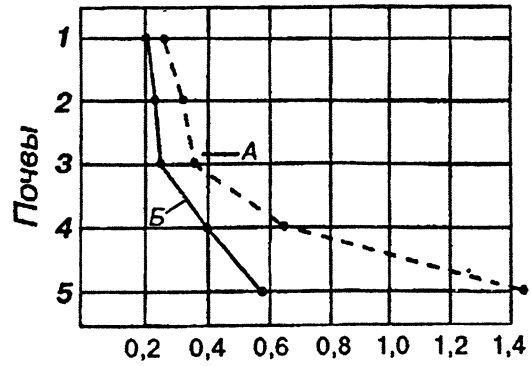


Рис. 5.2. **Изменение значений критерия Швертмана (*А*) и его модификации (*Б*) в контактных моренных горизонтах почв на среднемощном двучлене с усилением степени гидроморфизма. Почвы: *1* — бурая неоглеенная, *2* — бурая глубокооглеенная, *3* — дерново-подзолистая слабоглееватая, *4* — то же, глееватая, *5* — то же, глеевая**

Предпринятые исследования [Зайдельман, Банников, 1997] показывают, что эти соотношения могут быть эффективно использованы для количественной диагностики однородных песчаных (супесчаных) почв, а также для характеристики их лесохозяйственных и экологических условий.

При работе с системой аналитических методов диагностики степени заболоченности следует исходить из того, что эти количественные приемы применяют не взамен, а в тесном сочетании с классическими морфогенетическими методами диагностики почв. Они дополняют морфологическое исследование почвенного профиля в полевых условиях, делают их более содержательными и точными.

5.6. Эколого-мелиоративная оценка влияния остаточного оглеения, повышенных концентраций окиси железа, извести и гипса на сельскохозяйственные растения

Почвы гумидных ландшафтов Нечерноземья практически свободны от опасных концентраций легководорастворимых токсических солей. Однако определенное влияние на сельскохозяйственные растения на мелиорируемых массивах могут оказывать другие факторы — остаточное последействие оглеения, неблагоприятные концентрации в ризосфере оксидов железа, повышенное содержание в пахотном горизонте извести и гипса. Эти факторы должны учитываться при изучении эколого-мелиоративного состояния территории.

5.6.1. Влияние оглеения на плодородие осушаемых почв

При оглеении в почвенном растворе накапливаются соединения, способные оказывать токсическое воздействие на растения, снижать урожай или вызывать их гибель. К ним относятся: закись железа, марганца, фенолы и полифенолы, сероводород, подвижный алюминий и др. Сохраняются ли в сухую фазу или после осушения в почвах токсические соединения и насколько они опасны для растений? В.Т. Касаткин и В.М. Пилько (1930), А.Д. Черненков (1947) полагали, что в оглеенных почвах сохраняется опасность такого токсического последействия оглеения. Однако наши наблюдения показывают, что в сухие и средние по влажности годы на оглеенных почвах часто может быть получен такой же или более высокий урожай, что и на автоморфных неоглеенных. Это позволило высказать предположение о том, что после осушения при рациональных параметрах дренажа токсические соединения в оглеенных почвах в результате их окисления не оказывают опасного влияния на растения. Для проверки этого предположения в пахотных горизонтах неоглеенных, глубокооглеенных, глееватых и глеевых суглинистых дерново-подзолистых почв в условиях вегетационного опыта были высеяны овес и ячмень [Зайдельман, 1991].

Результаты опытов оказались однозначными (табл. 5.7). На всех четырех вариантах почв, отличавшихся по степени оглеения, были получены близкие урожаи ячменя и овса. Это позволяет признать, что последействие оглеения не оказывает негативного влияния на плодородие осушаемых оглеенных почв в условиях эффективно действующего дренажа.

Таблица 5.5

Урожаи зерновых культур на мелкоземе пахотного горизонта суглинистых дерново-подзолистых почв разной степени оглеения. Вегетационный опыт. Удобренный фон. Повторность 4-кратная (зерно, г/сосуд)

Почва	Вес зерна, г/сосуд	Содержание белкового азота, %	Содержание белка в зерне, %
Ячмень			
Неоглеенная	46,7 ± 0,9	1,75	10,0
Глубокооглеенная	40,7 ± 0,1	1,99	11,5
Глееватая	42,8 ± 0,9	2,26	13,0
Глеевая	50,0 ± 1,7	1,99	11,5

Продолжение таблицы 5.5

Овес			
Неоглеенная	28,2 ± 0,5	2,00	11,5
Глубокооглеенная	28,8 ± 0,4	1,99	11,4
Глееватая	28,5 ± 0,7	2,09	12,0
Глеевая	28,0 ± 0,2	2,08	12,0

5.6.2. Влияние аккумуляций гидроксида железа на продуктивность растений

В этой проблеме наиболее актуален вопрос о том, как влияют различные концентрации железа в поверхностных корнеобитаемых горизонтах на продуктивность разных культур. Сложность достаточно полного ответа на этот вопрос заключается в том, что существующие в настоящее время оценки влияния разных концентраций железа в пахотном горизонте на урожай носят в конечном итоге преимущественно качественный и визуальный характер.

При низких исходных значениях содержания железа в профиле (например, около 1% в легких песчаных почвах) его увеличение может оказать положительное действие, поскольку в новообразованиях, вовлекаемых в пахотный горизонт, концентрируются необходимые для растений микро- и макроэлементы. В условиях вегетационного опыта было изучено влияние рудяковых новообразований (Fe_2O_3 ~ 35%) на урожайность (рис. 5.3) сложноцветных, зерновых и бобовых культур, возделываемых на пахотном горизонте супесчаных дерново-подзолистых почв (исходное содержание Fe_2O_3 = 1%, контроль) [Зайдельман, Нарокова, 1975]. Полученные данные показывают, что различные культуры по-разному реагируют на разную степень ожелезнения пахотного горизонта. Зерновые на фоне благоприятного увлажнения и стабильного обеспечения растений элементами питания в диапазоне 1–35% Fe_2O_3 практически не реагировали на изменение содержания оксида железа в пахотном горизонте. При этом в диапазоне 7–21% Fe_2O_3 наблюдается несущественное (на 5–15%) повышение их урожайности. Зернобобовые и бобовые в интервале концентрации 14–28% повышают урожай зерна фасоли и общей массы клевера на 15–25%. Дальнейшее увеличение содержания Fe_2O_3 в почве приводило к резкому угнетению растений и падению урожай-

ности зерна и сена соответственно на 30 и 80% по сравнению с контролем (1% Fe_2O_3).

Наиболее чувствительными сельскохозяйственными культурами в этом случае оказались сложноцветные. При увеличении концентрации Fe_2O_3 в пахотном горизонте до 7% наблюдалось некоторое увеличение (5%) урожайности салата. Дальнейшее повышение содержания Fe_2O_3 вызывало резкое падение урожая. В диапазоне 14–28% Fe_2O_3 урожай не превышал 40–60%, а при 35% гидроксида железа в пахотном горизонте составил лишь 20% от контроля.

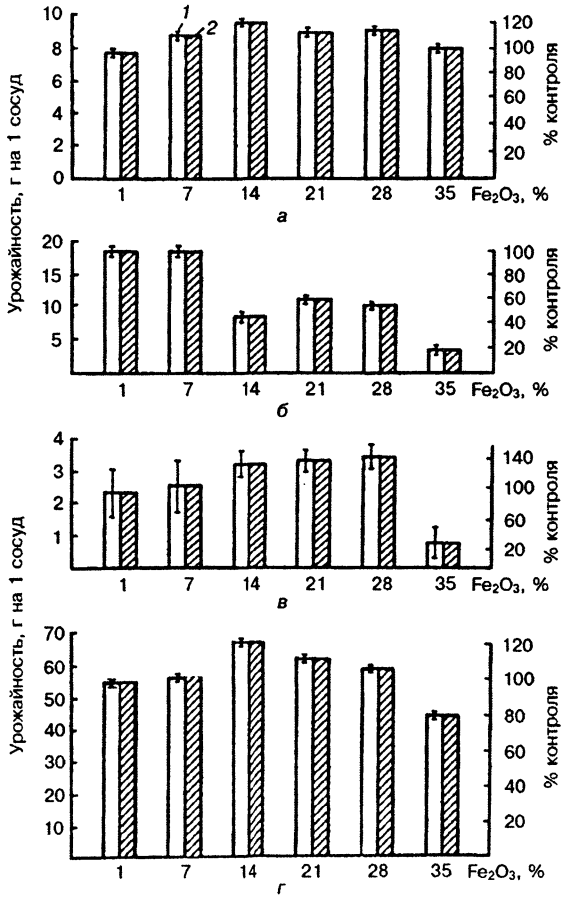


Рис. 5.3. **Влияние содержания Fe_2O_3 в пахотном горизонте дерново-подзолистой супесчаной почвы на урожайность сельскохозяйственных культур в условиях вегетационного опыта: *а* — ячмень (зерно), сорт Винер; *б* — салат, сорт Берлинский; *в* — клевер (зеленая масса), сорт МОС-1; *г* — фасоль (зерно), сорт Осеченский 302; *1* — урожайность, г на 1 сосуд; *2* — то же, % контроля**

Существенным остается вопрос о влиянии повышенных концентраций Fe_2O_3 на качество сельскохозяйственной продукции. Этот вопрос нуждается в дополнительном изучении. Можно лишь признать, что в тех случаях, когда урожай зерновых удерживается на уровне контроля, содержание белка в товарной продукции остается неизменным или более высоким, чем на контроле. В бобовых содержание белка близко к контрольным значениям.

5.6.3. Влияние извести в почвах на продуктивность растений

Аккумуляции туфа, лугового мергеля и извести широко распространены в почвах, где причиной заболачивания являются жесткие грунтовые и напорные воды. Если в зоне аэрации происходит резкое падение парциального давления угольной кислоты, бикарбонаты щелочноземельных металлов переходят в карбонаты и выпадают в осадок, формируя толщи вторичных известковых аккумуляций. После осушения, осадки и сработки торфяной толщи в поверхностные корнеобитаемые горизонты поступает значительная масса извести.

В этой связи были выполнены специальные исследования в вегетационных условиях для определения критических уровней содержания извести (рис. 5.4) [Зайдельман, Нарокова, 1976]. Изучали влияние на растения возрастающих доз карбонатных аккумуляций. На субстратах с содержанием $CaCO_3$ в интервале 10–90% исследовали изменение продуктивности сложноцветных, бобовых и зерновых культур. Полученные данные показывают, что высокие концентрации извести существенно не изменили урожайности сложноцветных (в опыте — салат). Повышение содержания извести в почве до 20% сопровождалось заметным увеличением его урожайности на 20–30%. При дальнейшем росте содержания извести (до 70%) урожай салата несколько превышал (на 5–10%) контроль или находился на его уровне. Наконец, непосредственно на известковом субстрате (92% $CaCO_3$) растения испытывали резкое угнетение.

В отличие от сложноцветных, действие извести на зерновые культуры весьма отчетливо проявлялось в малых дозах. Так, при содержании $CaCO_3$ в количестве 10–15% урожай зерновых снижался на 5%; при 30% — на 20%. При дальнейшем увеличении концентрации $CaCO_3$ (до 50%) урожайность зерна ячменя и овса уменьшалась соответственно на 30 и 40%.

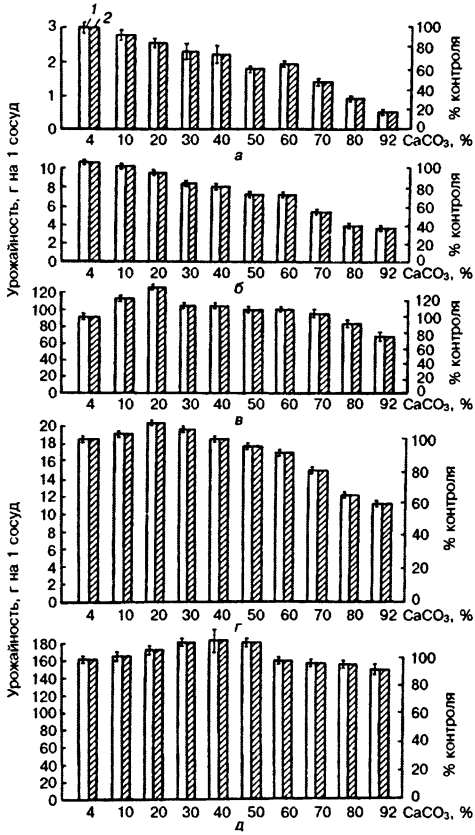


Рис. 5.4. **Влияние содержания извести (лугового мергеля) в корнеобитаемом слое на урожайность сельскохозяйственных культур: *а* — овес (зерно), сорт Московский; *б* — ячмень (зерно); *в* — салат, сорт Берлинский; *г* — фасоль (зерно), сорт Краснодарский; *д* — бобы (зеленая масса), сорт Русский; *1* — урожайность, г на 1 сосуд; *2* — то же, % контроля**

Таким образом, если признать критическими уровнями концентрации $CaCO_3$ в пахотном горизонте, при которых урожайность снижается на 5%, то они окажутся равными соответственно для сложноцветных овощных культур 70%, для зерновых бобовых 50, для злаковых зерновых 10–15%.

В приведенных данных обращает внимание факт, не получивший пока удовлетворительного объяснения. Он заключается в том, что действие железистых и известковых аккумуляций оказывается в известном смысле противоположным. Так, зерновые злаковые растения относительно легко переносят повышение содержания железа. При максимальном содержании этого металла в почве их урожай практически не снижался, тогда как незначительное повышение извести в корнеобитаемом горизонте резко уменьшало выход зерна. Напротив, сложноцветные овощные культуры продуцировали наиболее высокую урожайность или не снижали ее уровня при весьма значительных концентрациях $CaCO_3$ — до 70%. Однако они испытывали резкое угнетение при от-

носительно невысоких (до 14%) дозах оксида железа (Fe_2O_3). Промежуточная реакция на повышенное содержание железа и извести свойственна зернобобовым.

5.6.3.1. Разрушение зон железистой и карбонатной цементации

Железистые и карбонатные аккумуляции в почвенном профиле часто представлены плотными, сцементированными слоями, отрицательно влияющими на механические, термические и гидрологические условия. Поэтому при мелиорации таких почв целесообразно механическое рыхление рудяковых, уплотненных ортзандовых и карбонатных горизонтов, когда они залегают выше 60–70 см. Содержание Fe_2O_3 в почве до 7% всегда вызывает повышение урожая всех культур. Поэтому вовлечение ортзанда, который содержит обычно не более 4% Fe_2O_3, в пахотный горизонт можно расценивать как дополнительный источник поступления элементов зольного питания в корнеобитаемую толщу легких почв.

Почвы с плотными *поверхностными известковыми* и *железистыми горизонтами мощностью 20–60 см* (обычно почвы приболотного пояса) нецелесообразно вовлекать в интенсивное сельскохозяйственное использование.

При более глубоком (30–40 см и более) залегании «солончаковых» слоев мощный ожелезненный или карбонатный горизонт можно легко «разбавить» почвенным мелкоземом и устранить его отрицательное механическое и химическое влияние. В этом случае целесообразно механическое рыхление плотных горизонтов. Зная общее (валовое) послойное содержание Fe_2O_3 или $CaCO_3$ (K), плотность ($\rho_в$) и мощность (H) каждого горизонта, можно рассчитать средневзвешенное содержание Fe_2O_3 или $CaCO_3$ в пахотном горизонте после рыхления, пахоты и освоения осушаемых почв. Содержание Fe_2O_3 и $CaCO_3$ в пахотном горизонте (A, %) составит

$$A = \frac{K_1\rho_{в1}H_1 + K_2\rho_{в2}H_2 + \ldots + K_n\rho_{вn}H_n}{H_1\rho_{в1} + H_2\rho_{в2} + \ldots + H_n\rho_{вn}} \qquad (56)$$

Приведенные рекомендации о пороговых значениях содержания Fe_2O_3 и $CaCO_3$ в заболоченных почвах могут быть использованы для прогноза влияния солевых аккумуляций Fe и Ca на урожай после осушения, расчета срока окупаемости капиталовложений при мелиора-

ции, решении вопроса об очередности строительства и выборе объекта мелиорации.

5.6.4. Гипс в почвах и его влияние на урожай

Аккумуляции гипса ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) в заболоченных почвах Нечерноземья имеют весьма ограниченное распространение. Как правило, они встречаются в речных долинах, преимущественно в почвах пойменных террас, заболоченных грунтовыми или напорными водами. В торфяных почвах рек Клязьмы, Теши, Кудьмы гипсовые аккумуляции отчетливо проявляются в засушливый летний период в виде белесоватого солевого налета на поверхности пашни, приуроченной к торфяным почвам.

Оценка влияния различных концентраций гипса на растения производилась нами на низинных торфяных почвах, поскольку именно на них наиболее часто встречаются случаи гипсового засоления.

Исследования выполняли в условиях вегетационного опыта на фоне оптимального увлажнения (0,8–1,0 ППВ) и удобрения. Действие гипса оценивали в интервалах его концентраций в пахотном го-

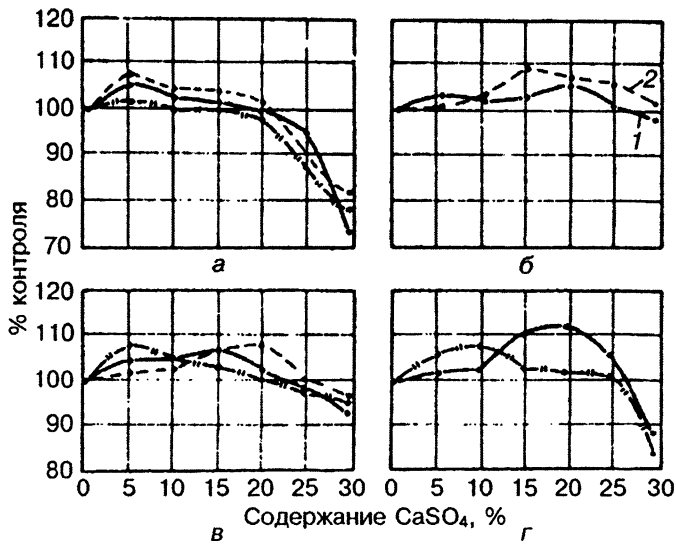


Рис. 5.5. **Влияние содержания гипса в корнеобитаемом слое торфяных почв на урожайность сельскохозяйственных культур в разные годы: *а* — салат; *б* — зерно фасоли (*1*) и бобов (*2*); *в* — ячмень (зерно); *г* — кукуруза (зеленая масса)**

ризонте 0–30% абсолютно сухой массы торфяной почвы. Полученные данные отражают изменения урожая кукурузы, ячменя, фасоли и салата на фоне разного содержания сульфата кальция (рис. 5.5). Они позволяют признать, что на все культуры гипс влияет негативно только при его весьма высоком содержании в пахотном горизонте. Поэтому наиболее часто встречающиеся в естественных условиях концентрации сульфата кальция в пахотном горизонте органогенных почв (5–10%) находятся значительно ниже порога токсичности этой соли. Они не оказывают отрицательного влияния на урожай растений. Так, установлено, что урожайность сложноцветных (салат) резко снижается только в тех случаях, когда содержание $CaSO_4$ равно или больше 20%. У зерновых (ячмень) урожайность несколько ниже контроля (~ на 10%) можно наблюдать лишь при концентрациях гипса в пахотном горизонте более 20–25%. Кукуруза на зерно, фасоль и бобы резко снижают урожай, когда концентрация гипса в пахотном слое оказывается выше 25–30%.

5.7. Известкование осушаемых почв

Дренаж почв в лесной зоне резко *усиливает вынос щелочноземельных металлов* из осушаемых почв и увеличивает их кислотность. Исключением в этом отношении являются лишь пойменные почвы, систематически затопляемые нейтральными или слабощелочными водами, и почвы, приуроченные к зонам близкого залегания жестких грунтовых вод. Однако эти почвы в Нечерноземной зоне не получили широкого распространения. Основные площади здесь заняты кислыми оглеенными почвами, дренаж которых усиливает вынос щелочноземельных металлов и их кислотность. Такое действие дренажа усугубляется применением физиологически кислых удобрений, выносом Ca и Mg с урожаем и другими причинами. В результате только за одну ротацию севооборота pH солевой вытяжки из пахотного горизонта торфяных почв может снизиться на 0,4–0,6. Это отрицательное действие дренажа может быть компенсировано только известкованием.

5.7.1. Известкование минеральных гидроморфных почв

Расчет доз $CaCO_3$ для известкования осушаемых минеральных гидроморфных почв существенно не отличается от расчетов, приня-

тых для минеральных незаболоченных и неоглеенных (автоморфных) почв. Доза извести определяется pH, гранулометрическим составом почв, их гидролитической кислотностью и плотностью (табл. 5.8).

Таблица 5.8

Дозы извести (т/га) для минеральных почв с содержанием гумуса до 5% [Сапожников, Корнилов, 1969]

Гранулометрический состав почв	pH в KCl						
	3,8–3,9	4,0–4,1	4,2–4,3	4,4–4,5	4,6–4,7	4,8–4,9	5,0–5,1
Песчаный	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5*
Супесчаный	8,0	6,5	5,5	4,5	4,0	3,5	3,0*
Легкосуглинистый	9,5	8,0	7,0	6,0	5,5	5,0	4,5
Среднесуглинистый	10,0	9,0	7,5	6,5	6,0	5,5	5,0
Тяжелосуглинистый	12,0	11,0	9,0	8,0	7,5	6,5	6,0
Глинистый	16,0	12,5	11,0	9,0	8,0	7,0	6,5

* Известкование желательно, но не обязательно.

Гранулометрический состав почв	pH в KCl						
	5,2–5,3	5,4–5,5	5,6–5,7	5,8–5,9	6,0–6,1	6,2–6,3	6,4–6,5
Песчаный	2,0*	–**	–	–	–	–	–
Супесчаный	2,5*	–	–	–	–	–	–
Легкосуглинистый	4,0	3,5	3,0*	2,5*	–	–	–
Среднесуглинистый	4,5	3,5	3,0*	2,5*	–	–	–
Тяжелосуглинистый	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0*	2,5*	–
Глинистый	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,5*	–

* Известкование желательно, но не обязательно.
** Известкование не требуется.

Для почв избыточного увлажнения с выраженными признаками гидроморфизма дозы, приведенные в табл. 5.8 для почв легкого механического состава, должны быть увеличены на 1,0–1,5 т/га, для средних и тяжелых — на 1,5 и 2,0 т/га.

Более строгим является расчет доз извести по гидролитической кислотности. При этом оптимальными являются дозы, обеспечивающие увеличение pH водной вытяжки до 6,0–6,5 и солевой (pH_{KCl}) до 5,5–6,0. Степень насыщенности почв основаниями после известкования в пахотном горизонте должна увеличиваться до 80–95%.

Если при мелиорации тяжелых оглеенных почв предусматривают сплошное глубокое рыхление, то известь вносят в дозах, достаточных для нейтрализации кислой реакции всей толщи, подвергаемой рыхлению (обычно 60–80 см.). Такие дозы обычно равны тройной

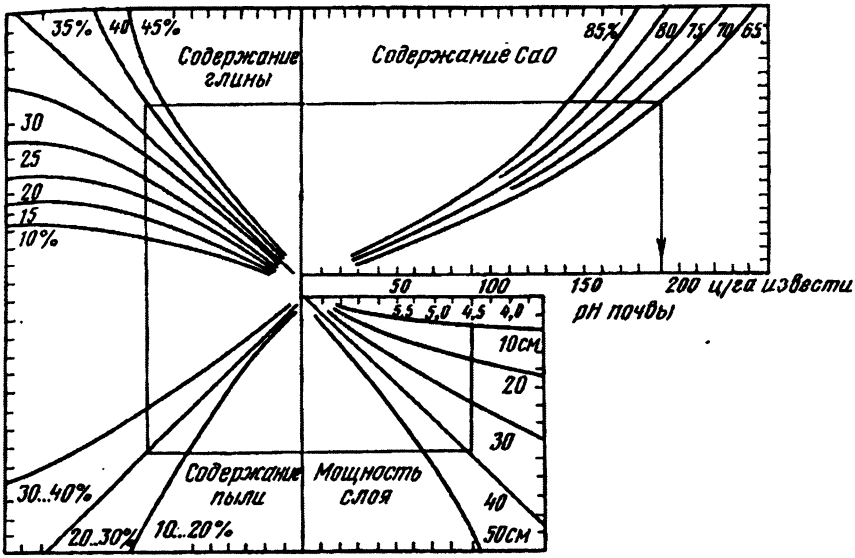


Рис. 5.6. **Номограммы для определения доз извести для закрепления структуры при глубоком рыхлении тяжелых почв (Cora, 1974)**

норме $CaCO_3$, необходимой для известкования пахотного горизонта, и составляют 20–24 т/га. Для определения доз извести при рыхлении может быть использована номограмма А. Гора, приведенная на рис. 5.6.

5.7.2. Известкование органогенных почв

Согласно рекомендациям Белорусского НИИ почвоведения и агрохимии и БелНИИМВХ (1975, табл. 5.9), благоприятные условия для роста и развития многолетних трав, озимой пшеницы, ячменя на торфяных почвах формируются при pH солевой вытяжки пахотного слоя 5,0–5,5. Более низкие значения pH, благоприятные для развития культур на торфяных почвах по сравнению с минеральными, объясняются различной природой кислотности. В торфяных почвах кислотность обусловлена водородным ионом, в минеральных, в значительной мере, обменным алюминием, токсичным для растений.

При известковании кислых торфяных почв рекомендованы следующие дозы $CaCO_3$ в зависимости от кислотности почв, степени насыщенности основаниями и плотности пахотного слоя (табл. 5.9).

Таблица 5.9

Дозы извести для низинных торфяных почв, т/га

pH	Гидролитическая кислотность, мг-экв на 100 г почвы	Степень насыщенности почв основаниями, %	Дозы $CaCO_3$ при плотности пахотного слоя, г/см^3	
			до 0,20	более 0,20
Менее 3,0	Более 140	Менее 15	10–12	12–16
3,01–3,90	140–100	15–25	8–10	10–12
3,91–4,30	100–60	25–50	4–6	6–8
4,31–4,70	60–40	50–65	2,5–4	3,5–5
4,71–5,0	40–30	65–75	1–2	2–3
Более 5,0	Менее 30	Более 75	Известкование нецелесообразно	

На почвах с pH от 3,9 до 5,0 наибольший эффект дает внесение извести из расчета нейтрализации не выше $^1/_4$ гидролитической кислотности. На более кислых торфяных почвах целесообразно вносить известь в дозах, соответствующих $^1/_2$ гидролитической кислотности. Торфяные почвы с pH более 5,0, как правило, в известковании не нуждаются, за исключением слаборазложившихся и ожелезненных торфяных почв, где невысокие дозы извести (1–2 т/га $CaCO_3$) способствуют мобилизации элементов питания и активизации микробиологической деятельности.

Поскольку с увеличением pH в торфяных почвах снижается доступность меди растениям, при известковании вновь осваиваемых торфяных почв необходимо вносить и медьсодержащие удобрения из расчета 5 кг действующего вещества на 1 га.

5.7.3. Уточнение дозы известкового материала в зависимости от его свойств

Приведенные в таблице 5.9 дозы извести даны из расчета на сухой, чистый и тонко размолотый мелиорант. Но в производственных условиях известь вносят во влажном состояния, часто с содержанием фракций более 1–3 мм, замедленно влияющих на изменение pH. Поэтому необходимо внести ряд поправок для определения истинной дозы извести, представленной фракциями оптимального размера (менее 0,25 мм). Дозу извести (*Д*), подлежащую внесению в почву в производственных условиях, исходя из свойств имеющегося материала, рассчитывают по формуле:

$$Д = \frac{H \cdot 100 \cdot 100 \cdot 100}{(100 - B) \cdot (100 - K) \cdot П}, \quad (57)$$

где H — доза $CaCO_3$, т/га (по табл. 26, 27);

B — влажность известкового материала;

K — содержание частиц, крупнее 1 мм в известковой и доломитовой муке и 4–5 мм — в гаже, туфе, меле, практически не снижающих кислотность, %;

$П$ — содержание $CaCO_3$, % на сухое вещество.

5.7.4. Дозы извести для специализированных севооборотов

Сельскохозяйственные культуры по-разному реагируют на внесение извести и изменение pH. Поэтому в зависимости от специализации севооборота на мелиорированных площадях эти дозы должны корректироваться в соответствии с рекомендациями С.С. Ярусова (1939):

Севообороты	Доза извести, в долях полной
Зерновые с клевером	При малых (10%) площадях картофеля — 1, при больших — 3/4
Кормовые с корнеплодами	1, при внесении борных удобрений — 2
Льняные	1/4–1/2 — на слабоокультуренных легких и 3/4 — на окультуренных почвах
Картофельные	До 1/2 на легких и 3/4 на тяжелых окультуренных почвах
Овощные	1

5.8. Особенности определения доз удобрений для дренированных минеральных и торфяных почв

Критерии, применяемые для расчета доз удобрений для автоморфных и минеральных заболоченных почв (после их дренажа), близких или тождественных по генезису и гранулометрическому составу, в принципе аналогичны. Вместе с тем при определении доз удобрений для минеральных дренируемых почв следует учитывать возможный вынос элементов питания с водами дренажного стока и соответственно увеличивать дозы извести и минеральных удобрений.

В каждом случае в зависимости от климата, почв, причин заболачивания и параметров дренажа объем выноса может существенно

варьировать. Поэтому его определяют регионально, для различных почв конкретных почвенно-географических провинций.

При расчете доз удобрений для органогенных почв наряду с оценкой возможного выноса элементов с дренажным стоком следует иметь в виду и еще одно весьма существенное обстоятельство.

Органогенные почвы, как правило, обладают значительно меньшей объемной массой (в 6–8 раз), чем минеральные. Поэтому запас питательных веществ в этих почвах при их одном и том же содержании (например, в мг на 100 г или на 1 кг почвы) оказывается в 6–8 раз ниже, а обеспеченность растений элементами питания соответственно меньшей, чем в минеральных почвах. Поэтому массовые критерии оценки обеспеченности торфяных почв элементами питания должны отличаться от тех, которые используют для минеральных почв.

Для кислых торфяных почв Белоруссии рекомендуются следующие критерии оценки их обеспеченности фосфором по содержанию P_2O_5 в 0,2 н. соляно-кислой вытяжке (табл. 5.10).

При внесении удобрений в соответствии с предложенной градацией торфяных почв по обеспеченности фосфором целесообразно руководствоваться следующим.

Таблица 5.10

Критерии обеспеченности торфяных почв фосфором [Кулаковская, 1965]

Степень обеспеченности	Содержание P_2O_5, мг на 100 г почвы	Запас подвижных фосфатов в слое 0–30 см, кг/га	Усвояемость формы P_2O_5, кг/га
Слабая	< 20	< 120	15–20
Средняя	20–40	120–140	20–50
Выше средней	40–60	140–360	50–150
Высокая	> 60	> 360	> 150

При слабой степени обеспеченности дозы фосфорных удобрений увеличивают примерно в 1,5 раза по сравнению с принятыми нормами; при средней степени ежегодно вносят фосфорные удобрения; при вышесредней степени обеспеченности фосфорные удобрения можно вносить через год или снижать принятые дозы на 25–30%. Сельскохозяйственные растения на торфяных почвах с высокой степенью обеспеченности на протяжении ряда лет не нуждаются в дополнительных фосфорных удобрениях, внесение будет целесообразно при возделывании сахарной свеклы, картофеля, кукурузы и других особо требо-

вательных культур на фоне применения повышенных доз калия и реже азота.

Таблица 5.11

Группировка торфяных почв по содержанию подвижного фосфора, обменного калия и степени кислотности [Масляная и др., 1977]

Группы	Степень обеспеченности	P_2O_5, мг на 100 г почвы	K_2O, мг на 100 г почвы	Кислотность	pH солевой вытяжки
I	Очень низкая	< 10	< 10	Очень сильнокислая	> 4,0
II	Низкая	11–20	11–15	Сильнокислая	4,1–4,5
III	Средняя	21–40	16–25	Среднекислая	4,6–5,0
IV	Выше средней	41–60	26–35	Слабокислая	5,1–5,5
V	Высокая	61–80	36–50	Близкая к нейтральной	5,6–6,0
VI	Очень высокая	> 80	> 50	Нейтральная	> 6,0

На среднеокультуренных торфяных почвах юга лесной зоны, по данным Белорусского НИИ почвоведения и агрохимии (1977), для получения 70–80 ц/га сена многолетних трав и 35–40 ц/га зерна ячменя и озимой ржи рекомендуется вносить 60–90 кг действующего вещества на 1 га фосфорных и 120–150 кг/га калийных удобрений. При программировании более высоких урожаев злаковых травостоев на каждые 10 ц сена следует дополнительно вносить 8–10 кг P_2O_5, 25–30 кг K_2O и 35–40 кг азота.

Всесоюзный институт удобрений и агрохимии им. Прянишникова [Масляная, Терентьева, Жильцова, 1977] рекомендует следующие критерии при оценке содержания подвижного фосфора, обменного калия и степени кислотности для составления агрохимических картограмм, отражающих плодородие осушаемых торфяных почв (табл. 5.11).

5.9. Химический состав вод дренажного стока и вынос элементов при дренаже почв разного генезиса

Химический состав вод дренажного стока привлекает внимание прежде всего по трем следующим причинам: во-первых, для решения задач агрономического цикла, обоснования рациональных норм и систем удобрений на мелиорированных почвах; во-вторых, при раз-

работке мероприятий по охране окружающей среды, оценке влияния вод дренажного стока на состав и качество воды водоприемников, на ихтиофауну и в целом на гидробиоту; в-третьих, эти сведения определяют конструктивные особенности дренажа, направленные на оптимизацию факторов плодородия почв.

Существует и еще один аспект рассматриваемой проблемы. В целом дренажные системы являются огромными лизиметрами, в регулирующую сеть которых поступают естественные почвенные растворы. Изучая состав дренажного стока, можно проследить особенности современного почвообразования, протекающего при активном влиянии человека. Если учесть, что в настоящее время мелиорированные массивы занимают десятки, сотни тысяч и миллионы гектаров, а проблема выноса элементов и влияния дренажных сточных вод на природную среду гумидных ландшафтов остается нерешенной, то становится очевидной актуальность этой проблемы.

По составу воды дренажного стока можно подразделить на две группы. Воды дренажного стока первой группы формируются в почвах грунтового заболачивания. Они весьма разнообразны по составу, который определяется гидрохимией грунтового (напорного) бассейна. В известной мере такие воды подвергаются разбавлению влагой осадков; они содержат компоненты, выщелачиваемые из поверхностных горизонтов почвенного профиля. В них часто встречаются повышенные концентрации железа, щелочноземельных металлов, реже — сульфатов кальция и натрия.

Вторая группа вод дренажного стока формируется при работе дренажных систем на почвах поверхностного заболачивания. В этом случае состав вод оказывается более однородным, и его различия обусловлены составом и свойствами почвообразующих пород. В этой группе обычно отсутствуют воды, обогащенные железом, сульфатами кальция и натрия. Здесь на кислых породах преобладают пресные и ультрапресные воды, формирующие дренажный сток.

При равных условиях интенсивность выноса определяется параметрами дренажа и мероприятиями, сопутствующими дренажу, а именно чем меньше расстояние между дренами, тем больший объем дренажного стока пропускает осушительная система и тем больше вынос. На тяжелых почвах с водопроницаемостью иллювиальных горизонтов менее 0,1–0,05 м/сут. при междренных расстояниях 10, 20 и 40 м объем стока и вынос изменяются в отношении 3 : (1,5–2,0) : 1.

Особенно резко возрастает объем стока и вынос при кротовании тяжелых почв (в 1,5–2 раза в период стабильного состояния дрен) и рыхлении-кротовании. Глубокое мелиоративное рыхление, резко увеличивая адсорбционную поверхность, особенно сплошное рыхление (до 80 см) активными рыхлителями, может способствовать (по сравнению с рыхлением-кротованием и кротованием) изменению концентрации ионов в водах дренажного стока.

Наиболее активно в Нечерноземной зоне выносятся щелочноземельные металлы. Осушение активизирует окисление серы сульфидных минералов. Весьма заметным оказывается вынос калия, особенно в кислых почвах. Фосфор, почти не поступает в дренажные воды, даже при внесении фосфорнокислых удобрений, поскольку ортофосфорная кислота связывается в основном с трехвалентными металлами, особенно с алюминием.

Чем больше содержится в почве карбонатов, чем выше степень насыщенности их двухвалентными катионами, тем устойчивее к выветриванию алюмо- и феррисиликаты, тем ниже содержание в воде дренажного стока кремнезема, железа, алюминия, фосфора, марганца и тем слабее их вынос. В зависимости от влажности года при дренаже (междренные расстояния 16 м, глубина 1,1 м) из средне- и тяжелосуглинистых оглеенных почв на покровных кислых лессовидных породах отмечены следующие минимальные и максимальные величины годового выноса: кальций — от 11 до 164 кг/га, магний — от 6 до 56 кг/га, нитраты — от 8 до 20 кг/га, фосфаты — 0,3 кг/га.

5.10. Определение типа химизма и степени засоления почв, их эволюции и расчет состава солей по данным анализа водных вытяжек

Диагностика химического состава водорастворимых солей и их содержания по данным водных вытяжек играет важную роль при мелиоративной, агрономической и экологической оценке засоленных почв. На основе этого анализа почвы классифицируют по типу химизма засоления и степени засоления. На этой основе разрабатывают систему мероприятий по их рассолению, альтернативному использованию в сельском хозяйстве.

На основе анализа химического состава и содержания водорастворимых солей возможен прогноз эволюционных изменений почв в условиях орошаемого земледелия. Таким образом, в основе решения всех этих вопросов лежат сведения о химическом составе засоленных почв, полученные методом анализа водных вытяжек из горизонтов исследуемых почв. Состав водорастворимых солей в засоленных почвах весьма разнообразен. Чаще всего они представлены NaCl, Na_2SO_4, $NaHCO_3$, Na_2CO_3, $CaSO_4$, $CaCl_2$, $MgSO_4$, $MgCl_2$ и др. К легкорастворимым относятся нитраты, нитриты, хлориды, сульфаты натрия и магния, бикарбонат натрия; к среднерастворимым — сульфат кальция; к труднорастворимым — карбонаты кальция, фосфаты кальция, железа, алюминия.

Анализ водной вытяжки позволяет определить количество токсичных солей (хлоридов, натриевых солей), частично запасы сульфатов, карбонатов кальция и магния.

При полном анализе водной вытяжки чаще всего определяют плотный остаток, состав анионов (щелочность от нормальных карбонатов CO_3^{2-} и бикарбонатов HCO_3^-, анионы Cl^-, SO_4^{2-}) и состав катионов (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+). При сокращенном — ограничиваются определением катионов Ca^{2+} и Na^+, анионов HCO_3^-, CO_3^{2-} и плотного остатка.

Последние годы опубликованы фундаментальные учебники и монографии, в которых подробно рассмотрены методы химического анализа водных вытяжек из засоленных почв. Это освобождает от необходимости изложения методических вопросов, связанных с лабораторными исследованиями состава и содержания водорастворимых солей в почвах.

Вместе с тем здесь уместно вкратце остановиться на некоторых общих вопросах, связанных с оценкой содержания водорастворимых солей и методами изучения эволюции засоленных почв в условиях орошаемого земледелия на основе результатов исследования химического состава водорастворимых солей.

5.10.1. Определение типа химизма засоленных почв

В процессе эволюции в почвах накапливаются разнообразные соли, представляющие собой различные соединения главным образом катионов Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} и анионов Cl^-, SO_4^{2-}, CO_3^{2-}, HCO_3^-.

К токсичным солям относятся Na_2CO_3, $MgCO_3$, $NaHCO_3$, $Mg(HCO_3)_2$, Na_2SO_4, $MgSO_4$, NaCl, $MgCl_2$ и $CaCl_2$. Наиболее токсич-

ной солью является углекислый натрий (сода). Вредное действие на растения оказывают хлористые и сернокислые соли, причем хлористые соли являются более токсичными для растений, чем сернокислые. В незасоленных почвах основную массу анионов составляют HCO_3^- и NO_3^-.

Разделение засоленных почв по типу химизма (качественному составу солей) основывается главным образом на соотношении анионов. В наименовании типа засоления учитываются только те анионы, содержание которых превышает 20% суммы ммоль(–)экв анионов, причем преобладающий анион в названии становится на последнее место. Содержание анионов CO_3^{2-} в расчет не включается, так как CO_3^{2-} входит в состав общей щелочности. Если в водной вытяжке при значительном преобладании SO_4^{2-} и Cl^- присутствуют (хотя бы в одном из горизонтов почвы) анионы CO_3^{2-} менее 20% суммы ммоль(–)экв анионов, но более 0,03 на 100 г почвы, засоление определяется по соотношению преобладающих ионов с добавлением в название «с участием соды». То же необходим делать в отношении ионов HCO_3^-, если количество их в водной вытяжке превышает 1,0 ммоль(–)экв на 100 г почвы, а HCO_3^- больше $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ ммоль(–)экв. Если повышенное содержание HCO_3^- обусловлено $Mg(HCO_3)_2$, тип засоления определяют как гидрокарбонатный. Результаты анализа водных вытяжек по химическому составу водорастворимых солей и их содержанию позволяют установить тип химизма засоления по анионному составу (табл. 5.12).

По химическому составу катионов и их содержанию в водной вытяжке (ммоль(±)экв на 100 г почвы) можно установить тип химизма засоления почв по соотношению катионов (табл. 5.13) [1].

Таблица 5.12

Типы засоления почв по анионному и катионному составу солей

Типы засоления	Отношение анионов*			Отношение катионов и анионов*
	$\frac{Cl^-}{SO_4^{2-}}$	$\frac{HCO_3^-}{Cl^-}$	$\frac{HCO_3^-}{SO_4^{2-}}$	
Хлоридное и сульфатно-хлоридное	1–25 и более	–	–	–
Хлоридно-сульфатное	0,2–1,0	–	–	–

[1] Таблица приведена по тексту монографии «Засоленные почвы России». Глава 2, с. 19. Авторы — Е.И. Панкова и Л.А. Воробьева.

Сульфатное	< 0,2	–	–	HCO_3^- более $Ca^{2+} + Mg^{2+}$
Содово-хлоридное	> 1	< 1	> 1	–
Содово-сульфатное	< 1	> 1	< 1	–
Хлоридно-содовое	> 1	> 1	> 1	–
а20Сульфатно-содовое	< 1	> 1	> 1	–
Сульфатно- и хлоридно-гидрокарбонатное (щелочноземельное)	–	> 1	> 1	$Na^+ < Ca^{2+}$ $Na^+ < Mg^{2+}$ $HCO_3^- > Na^+$
* Миллимолей эквивалентов.				

Современная диагностика степени засоления почв строится на оценке содержания токсичных водорастворимых солей, оказывающих негативное влияние на сельскохозяйственные растения.

5.10.2. Оценка степени засоления почв по содержанию токсичных солей по методу Н.И. Базилевич, Е.И. Панковой[1]

Отрицательное воздействие на рост и развитие растений на засоленных почвах оказывает не только количественное содержание легкорастворимых солей, но и их качественный состав (то есть соотношение в почве различных ионов). Причем вредное влияние на растения оказывают не все, а лишь токсичные соли, к которым относятся Na_2CO_3, $MgCO_3$, $NaHCO_3$, $Mg(HCO_3)_2$, Na_2SO_4, $MgSO_4$. NaCl, $MgCl_2$ и $CaCl_2$. Поэтому оценивать степень засоленности почв целесообразнее по наличию в почве токсичных ионов и солей.

Расчет токсичных ионов и солей проводится по результатам анализов водных вытяжек почв в такой последовательности (для расчетов берутся концентрации ионов, выраженные в мг-экв на 100 г почвы).

1. Ионы CO_3 связаны только с токсичными солями (Na_2CO_3 и $MgCO_3$), и поэтому все они относятся к токсичным.
2. Ионы HCO_3 в водной вытяжке могут быть обусловлены присутствием токсичных солей $NaHCO_3$, $Mg(HCO_3)_2$ и нетоксичной солью $Ca(HCO_3)_2$. В первую очередь находят возможное содержание в водной вытяжке ионов HCO_3, связанных с кальцием, поскольку бикарбонаты кальция наименее растворимы.

[1] Текст раздела 5.10.2 приведен по прописи «Практикума по почвоведению», составленной В.Г. Витязевым, под ред. И.С. Кауричева. — М.: Колос, 1980.

Оставшееся количество ионов HCO_3 относят к токсичным. Они рассчитываются путем уменьшения концентрации ионов HCO_3 на количество ионов кальция (когда его в водной вытяжке меньше, чем ионов HCO_3, что бывает при отсутствии в почве гипса).

В том случае, когда ионов Са в водной вытяжке больше, чем HCO_3, все ионы HCO_3 относят к нетоксичным ионам.

3. Ионы SO_4, так же как и ионы HCO_3, могут быть обусловлены в почве присутствием токсичных (Na_2SO_4, $MgSO_4$) и нетоксичной ($CaSO_4$) солей. Вначале определяют содержание ионов SO_4^{2-} нетоксичных солей, которые обусловлены присутствием в почве кальция. Количество ионов SO_4^{2-} (связанных в $CaSO_4$) соответствует содержанию ионов Ca^{2+} в водной вытяжке, уменьшенных на количество ионов Ca^{2+}, связанных с HCO_3^-. Затем рассчитывают содержание токсичных ионов SO_4^{2-} (связанных с Na^+ и Mg^{2+}). Для этого из общего содержания SO_4^{2-} вычитают количество ионов Ca^{2+} в водной вытяжке, уменьшенное на величину кальция, связанного с ионами HCO_3^-:

SO_4^{2-} (токсичных ионов) = SO_4^{2-} (в водной вытяжке) — (Ca^{2+} в водной вытяжке — Ca^{2+}, связанный с HCO_3^-).

4. Ионы Cl^- относят к токсичным, поскольку все соли, их содержащие, являются токсичными.

Для оценки степени засоления почв по содержанию в них токсичных солей необходимо количество последних выразить в процентах от массы абсолютно сухой почвы. Для этого концентраций ионов, выраженные в мг-экв. на 100 г почвы, умножают на соответствующие коэффициенты:

для CO_3^{2+} на 0,0300; HCO_3^- — 0,0610; Cl^- — 0,0355; SO_4^{2-} — 0,0480; Mg^{2+} — 0,0122; Na^- — 0,0230 и Ca^{2+} — 0,0204. Затем суммируют процентное содержание токсичных ионов и оценивают степень засоления почв по табл. 5.14.

Таблица 5.13

Химизм засоления почв по соотношению катионов, ммоль(+)/100 г почвы

Химизм засоления	Соотношение катионов
Натриевый	$Na^+ > Ca^{2+}$, $Na^+ > Mg^{2+}$, $Ca^{2+} < 20\%$ S катионов, $Mg^{2+} < 20\%$ S катионов
Магниевый	$Mg^{2+} > Ca^{2+}$, $Mg^{2+} > Na^+$, $Na^+ < 20\%$ S катионов, $Ca^{2+} < 20\%$ S катионов

Кальциевый	$Ca^{2+} > Na^{+}$, $Ca^{2+} > Mg^{2+}$, $Na^{+} < 20\%$ S катионов, $Mg^{2+} < 20\%$ S катионов
Магниево-натриевый	$Na^{+} > Mg^{2+}$, $Ca^{2+} < 20\%$ S катионов
Кальциево-натриевый	$Na^{+} > Ca^{2+}$, $Mg^{2+} < 20\%$ Sкатионов
Кальциево-магниевый	$Mg^{2+} > Ca^{2+}$, $Na^{+} < 20\%$ Sкатионов
Натриево-магниевый	$Mg^{2+} > Na^{+}$, $Ca^{2+} < 20\%$ S катионов
Натриево-кальциевый	$Ca^{2+} > Na^{+}$, $Mg^{2+} < 20\%$ S катионов
Магниево-кальциевый	$Ca^{2+} > Mg^{2+}$, $Na^{+} < 20\%$ S катионов

5.10.3. Прогноз эволюции засоленных почв в условиях орошаемого земледелия

Эволюция засоленных почв является одной из наиболее актуальных проблем орошаемого земледелия засушливой и аридной зон. Существует ряд методов, которые по характеру распределения солевых масс позволяют судить о направленности эволюции почв на ирригационных массивах.

5.10.3.1. Оценка эволюции почв по водно-солевому балансу по методу В.А. Ковды

На массивах орошения взаимоотношение водного и солевого баланса можно выразить следующим уравнением:

$$J \cdot C = Q \cdot C_1, \qquad (58)$$

где J — все виды прихода грунтовых вод;

C — концентрация растворов, питающих грунтовые воды;

Q — все виды расхода грунтовых вод на отток, т.е. общий расход минус суммарное испарение;

C_1 — концентрация растворов, уходящих с естественным или искусственным оттоком грунтовых вод.

Это достаточно стабильный, но часто неблагоприятный тип водно-солевого баланса для условий орошаемого сельского хозяйства.

Худшим сочетанием условий будет случай, когда $J \cdot C > Q \cdot C_1$. В этих условиях соленакопление в грунтовых водах растет. Благополучное мелиоративное состояние орошаемого массива наблюдается при условии, когда $J \cdot C < Q \cdot C_1$, т.е. когда запас солей в грунтовых водах уменьшается.

В.А. Ковда (1984) подчеркивал, что бороться с соленакоплением следует путем уменьшения количества поступающих солей, т.е.

Таблица 5.14

Классификация почв по степени засоления в зависимости от химизма засоления (Базилевич, Панкова, 1972; Панкова, 1996)

Степень засоления почв	Химизм засоления (по соотношению ионов, ммоль экв / 100 г почвы)					
	Нейтральное засоление	Щелочное засоление	Карбонатно-щелочное засоление			
	Хлоридный, сульфатно-хлоридный	Хлоридно-сульфатный	Сульфатный	Содовый, хлоридно-содовый и содово-хлоридный	Сульфатно-содовый и содово-сульфатный	Сульфатно-хлоридно-карбонатный
Порог токсичности (незасолённые почвы)	≤0,1 / <0,05	≤0,2 / <0,1	≤0,3 (1,0) / <0,15	≤0,1 / <0,05	≤0,15 / <0,15	≤0,2 / <0,15
Слабая	0,1–0,2 / 0,05–0,12	0,2–04 (0,6) / 0,1–0,25	0,3(1,0)–0,6 (1,2) / 0,15–0,3	0,1–0,2 / 0,05–0,15	0,15–0,25 / 0,15–0,25	0,2–0,4 / 0,15–0,30
Средняя	0,2–0,4 / 0,12–0,35	0,4 (0,6)–0,6 (0,9) / 0,25–0,50	0,6 (1,2)–0,8 (1,5) / 0,3–0,6	0,2–0,3 / 0,15–0,3	0,25–0,4 / 0,25–0,4	0,4–0,5 / 0,3–0,5
Сильная	0,4–0,8 / 0,35–0,7	0,6 (0,9)–1,0 (1,4) / 0,5–1,0	0,8 (1,5)–1,5 (2,0) / 0,6–1,5	0,3–0,5 / 0,3–0,5	0,4–0,6 / 0,4–0,6	Не встречается
Очень сильная (солончаки)	>0,8 / >0,7	>1,0 (1,4) / >1,0	>1,5 (2,0) / >1,5	>0,5 / >0,5	>0,6 / > 0,6	То же

Примечания:

1. Над чертой — сумма солей, под чертой — сумма токсичных солей, %; водная вытяжка 1 : 5.
2. Цифры в скобках соответствуют степеням засоления по сумме солей в почвах, содержащих гипс.
3. Степень засоления почв хлоридного, сульфатно-хлоридного, сульфатного и хлоридно-сульфатного засоления с участием соды оценивают по критериям почв щелочного засоления

Преимущество этой новой редакции классификации почв заключается в том, что она отражает не только степень их засоления по сумме токсических солей, но и позволяет решать эту задачу по общей сумме солей. Кроме того она содержит количественную характеристику степени засоления гипсоносных почв.

Классификация имеет важное сельскохозяйственное значение, поскольку отражает агроэкологическое состояние почв разной степени засоления и позволяет связать эту характеристику с продуктивностью культур (табл. 5.15).

Таблица 5.15

Влияние степени засоления почв на состояние районированных сельскохозяйственных культур (Ковда, Егоров, Муратова, Строганов, 1960)

Степень засоления почв	Состояние среднесолеустойчивых культур
Незасолённые	Хороший рост и развитие (выпадов растений нет, урожай нормальный)
Слабозасолённые	Слабое угнетение (выпады растений и снижение урожая на 20%)
Среднезасолённые	Среднее угнетение (выпады растений и снижение урожая на 20–50%)
Сильнозасолённые	Сильное угнетение (выпады растений и снижение урожая на 50–80%)
Солончаки	Выживают единичные растения, полная гибель урожая

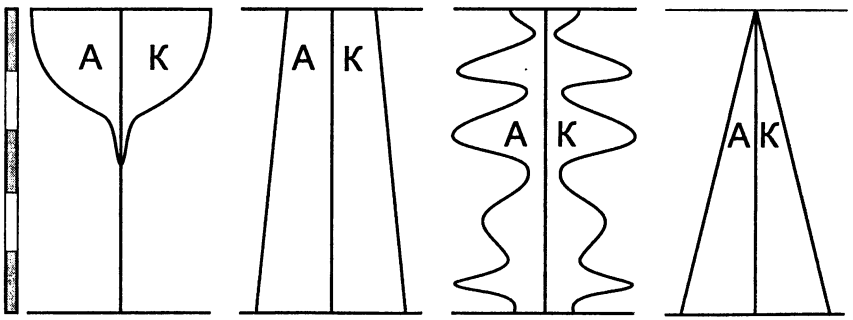
уменьшая левую часть уравнения. Это можно достигнуть преимущественно профилактическими мерами — ослабить или приостановить засоление и вызвать рассоление, увеличив сток грунтовых вод и содержащихся в них солей интенсивными мелиоративными мероприятиями.

Наиболее управляемым элементом в водно-солевом балансе является величина Q, т.е. отток грунтовых вод, который может быть усилен до необходимых размеров с помощью искусственного дренажа и промывок. Благоприятные условия будут иметь место при сбалансированном водном режиме, когда $J \cdot C = Q \cdot C$ или при $J \cdot C < Q \cdot C_1$.

5.10.3.2. Методика оценки направленности эволюции засоленных почв по эпюрам распределения водорастворимых солей

Методика предусматривает построения эпюр распределения катионов и анионов по профилю исследуемых почв и последующему анализу их форм. Выделяют следующие формы распределения солей, свидетельствующих о направленности эволюции почв (рис. 5.7).

1 Засоленные почвы с солончаковым профилем — максимум солей в его верхней части. При этом выделяют почвы с подвешенным солончаковым солевым профилем, в котором соли сосредоточены в верхнем его слое 0–50 см, а глубже почвы засолены слабо



1. Солончаковый профиль Начальная стадия соленакопления

2. Призматический профиль. Стадия интенсивного соленакопления

3. Луговой профиль. Соленакопление в условиях часто меняющегося уровня грунтовых вод.

4. Конический профиль соленакопления. Начальная фаза рассоления.

Рис. 5.7. **Эпюры распределения катионов (К) и анионов (А) водорастворимых солей по профилям почв на разных стадиях засоления и рассоления**

или практически не засолены. Эту форму следует рассматривать как начальную фазу прогрессирующего засоления.

2. Засоленные почвы с призматическим солевым профилем. Соли распределены относительно равномерно. Фаза интенсивного засоления.
3. Засоленные почвы с «луговым» типом распределения солей по профилю почв в условиях колеблющегося уровня залегания минерализованных грунтовых вод. Максимумы аккумуляции катионов и анионов сменяется их минимумом. Почвы существуют в условиях неустойчивого водно-солевого режима и колебания уровня засоленных грунтовых вод.
4. Засоленные почвы с пирамидальным распределением катионов и анионов. Минимум солей — в верхней части профиля. Содержание солей нарастает вниз по профилю. Фаза интенсивного рассоления.

5.10.3.3. Инверсия солей при вторичном засолении почв

Б.Б. Полыновым были установлены общие закономерности миграции водорастворимых солей. Им показано, что по миграционной активности хлориды, сульфаты и карбонаты отражают ряд, в котором на первом месте находятся хлориды, далее следуют сульфаты и затем — бикарбонаты. Поэтому в условиях естественного режима в профилях автморфных почв ближе всего к дневной поверхности находятся аккумуляции карбонатов (карбонат кальция, известь), далее следуют гипс и ниже — хлориды. Такая закономерная последовательность свидетельствует о том, что почвы существуют в условиях, не подверженных прогрессирующему засолению.

При вторичном заболачивании и засолении под влиянием восходящей капиллярной каймы от зеркала грунтовых вод к дневной поверхности прежде всего мигрируют хлор и, затем, сульфаты. Выше известкового горизонта или на его уровне возникает зона аккумуляции хлоридов ($CaCl_2$, $MgCl_2$ и $NaCl$). Кроме того, в этой зоне или выше возникает зона аккумуляции гипса ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Происходит глубокая инверсия размещения этих солей, указывающая на то, что данный профиль находится в условиях прогрессирующего засоления.

5.10.4. Оценка эволюции почв орошаемых массивов по методу Б.Б. Полынова

При оценке возможного вторичного засоления территории может быть использовано два методических приема.

Первый, рассмотренный выше в разделе 5.10.3.3, имеет преимущественно качественный характер. Он основан на установленной Б.Б. Полыновым закономерности различной миграционной активности хлоридов, сульфатов и карбонатов и инверсии их распределения в условиях засоления и рассоления. Второй метод, предложенный Б.Б. Полыновым, также основан на использовании этой закономерности. Он заслуживает внимания прежде всего потому, что предполагает количественную оценку развития засоления и рассоления почв в условиях орошения. Б.Б. Полынов следующим образом обосновал целесообразность его применения. «Если в степном грунте поднимается смешанный раствор хлоридов и сульфатов щелочных солей, то отношение $Cl^- : SO_4^{2-}$ в восходящем растворе изменяется. В верхней части капилляров содержание хлоридов относительно возрастает. Иными словами, если в исходном растворе $Cl^- : SO_4^{2-} = g$, а в восходящих капиллярах — g_1, то при засолении почв $g_1 > g$. При неизменном положении уровня грунтовой воды и при ненарушенном процессе капиллярного перемещения раствора установится такое положение, при котором отношения $Cl^- : SO_4^{2-}$ как в свободной грунтовой воде, так и в верхнем слое распространения солей будет приблизительно одинаково, т.е. $g_1 = g$.

Теперь представим, что вследствие тех или иных причин уровень грунтовой воды понизился и, следовательно, под влиянием опресняющего действия воды атмосферных осадков должен понизиться соответственно и верхний уровень распространения солей. Эти пресные воды будут, прежде всего, в большем количестве выносить вниз соли хлора и значительно меньше сульфат кальция. Это значит, что произойдут изменения в отношениях между хлоридами и сульфатами. В этом случае будет идти процесс увеличения содержания хлоридов, т.е. $g_1 < g$. Если рассчитать отношение $Cl^- : SO_4^{2-}$ в грунтовой воде и такое же отношение между этими анионами в области верхнего уровня распространения солей и разделим первое на второе, то получим некоторую величину S». Этот критерий был назван

Б.Б. Полыновым индексом солевого режима почв (грунта) $S = Cl^- : SO_4^{2-}$ (в грунтовой воде) / $Cl^- : SO_4^{2-}$ (в горизонте почвы) = g/g_1.

Если индекс засоления $S < 1$, то в этом случае идет процесс активного засоления почв.

При $S = 1$ — имеет место равновесие состояния солей;

при $S > 1$ — происходит рассоление горизонтов почвенного профиля.

Этот метод был предложен Б.Б. Полыновым в начале 1930-х годов. К сожалению, при жизни автора он не получил необходимого развития, проверки и внедрения. Тем не менее, в его основу был заложен целесообразный принцип, который позволял оперативно решать вопрос о направлении эволюции засоленных почв в условиях орошаемого земледелия на основе сравнительно простой и доступной методики.

Глава 6
Принципы и методы изучения эколого-гидрологического режима заболоченных почв, их классификация, диагностика и целесообразность мелиорации

Улучшение свойств и режимов почв, повышение их плодородия для интенсивного развития сельскохозяйственного производства — несомненно, одна из основных, но не единственная задача мелиораций независимо от того, какими способами и в какой природной зоне они реализуются. Вторая не менее актуальная задача заключается в том, чтобы улучшить природную среду для гармоничного существования человека и сохранения биоразнообразия на Земле. Важнейшее условие успешного решения этих двух фундаментальных задач заключается в изучении, понимании и на этой основе разумном управлении водным режимом почв мелиорируемых территорий.

Таким образом, основные задачи мелиораций заключаются в оптимизации водного режима почв и улучшении экологической ситуации в ареале мелиоративного воздействия на окружающую среду. Для того, чтобы решать эти задачу, необходимо прежде всего исследовать естественный водный режим почв, для оптимизации свойств которых проектируют системы мелиоративных мероприятий. Поэтому сведения об особенностях водного режима почв, их свойствах как среды обитания растений (прежде всего сельскохозяйственных культур) и продуктивность должны быть положены в основу любой классификации почв, связанной с земледелием на переувлажненных территориях.

Вместе с тем существующие классификации минеральных гидроморфных почв, построеные преимущественно только на их визуальной оценке, не отражают свойств почв как среды обитания культурных растений, объекта мелиорации и сельскохозяйственного использования. Поэтому они не являются основой для надежной производственной оценки почв. Вместе с тем, начиная с работ Я.Н. Афанасьева (1933), В.Г. Касаткина (1947), R. Arens u. a. (1958),

E. Muechenhausen (1953), а затем и наших исследований [Зайдельман, 1965, 1969, 1969а, 1985], обращалось особое внимание на то, что диагностика и классификация почв гидроморфного ряда могут содействовать решению ответственных прикладных задач только в том случае, если они учитывают свойства почв как среды обитания сельскохозяйственных растений, т.е. строятся на эколого-гидрологическом принципе [Зайдельман, 1985]. В этой связи важно подчеркнуть, что принцип экологического подхода к построению прикладных классификаций для решения важнейших агрономических и мелиоративных задач в почвоведении не нов. Он достаточно давно и весьма продуктивно был использован ранее, в частности для классификации засоленных почв аридной зоны. Составленные для этой зоны классификации предусматривали оценку степени засоления почв на уровне низших таксонов по реакции районированных культур. Существенно и то, что в этих классификационных построениях, успешно решающих прикладные задачи, было достигнуто необходимое генетическое и производственное единство. Значение такой общей классификации минеральных почв гумидной зоны, построенной на едином эколого-гидрологическом принципе, в настоящее время трудно переоценить. Для ее построения необходимо ввести представления о «заболоченных почвах» и «степени заболоченности почв». В этой связи следует, прежде всего, рассмотреть некоторые закономерности формирования урожая в условиях типичных ландшафтов Нечерноземья в зависимости от степени выраженности признаков почвенного гидроморфизма.

Во-первых, на начальных этапах появления признаков гидроморфизма в определенных гидроморфных почвах могут формироваться такие же или более благоприятные условия для сельскохозяйственных культур, что и в автоморфных. Так, например, на слабогидроморфных почвах, приуроченных к легким флювиогляциальным отложениям, лёссовидным (покровным) суглинкам и другим породам во влажные и средние по количеству осадков годы могут быть получены такие же (или более высокие) урожаи всех или большинства культур, что и на автоморфных почвах. Очевидно, однако, что в мелиоративном и агрономическом отношении такие гидроморфные почвы нельзя рассматривать как заболоченные, хотя они и обладают хорошо выраженными признаками гидроморфизма (например, оглеением, наличием конкреций, мощными подзолисты-

ми горизонтами и т.д.). Во-вторых, существуют и такие почвы, на которых при появлении незначительных признаков гидроморфизма наблюдается частичное или полное вымокание растений. Так, слабые признаки гидроморфизма в почвах на маломощных двучленных отложениях или на ленточных тонкослоистых глинах определенно указывают на то, что здесь без осушения невозможно устойчивое возделывание всех основных культур [Зайдельман, 1981]. Поэтому для решения прикладных задач возникает необходимость выделить такую группу минеральных почв, использование которых в сельскохозяйственном производстве связано с осушением (дренажем). Только такие почвы в мелиоративном и агрономическом смысле являются заболоченными. Исходя из изложенного, *заболоченными* в мелиоративном и агрономическом отношении мы будем называть такие минеральные почвы, в которых анаэробный период, обусловленный длительным застоем влаги, столь продолжителен, что затрудняет или исключает рост и развитие сельскохозяйственных культур[1].

Сельскохозяйственное использование заболоченных почв возможно, очевидно, только после удаления гравитационной влаги с помощью осушения (дренажа) Под *степенью заболоченности* понимается эколого-гидрологическое состояние почвы, определяющее необходимость применения осушения (дренажа) при возделывании различных районированных сельскохозяйственных культур [Зайдельман, 1984]. Итак, почва не заболочена, если эколого-гидрологические условия благоприятны для ведения сельскохозяйственного производства без осушения (дренажа) независимо от того, обладает или не обладает ее профиль ранее перечисленными морфологическими признаками гидроморфизма. Иными словами, почва может нести четкие признаки гидроморфизма, и одновременно ее эколого-гидрологические условия будут оставаться достаточно благоприятными для роста и развития культур. Такая почва является незаболоченной. Вместе с тем почва может и не обладать отчетливыми признаками гидроморфизма и, тем не менее, в агрономическом и мелиоративном смысле

[1] Здесь и далее «заболоченность» рассматривается как экологическое (агроэкологическое) состояние почв разного генезиса и состава, обусловленное их водным режимом. Оно определяет свойства заболоченных почв как среды обитания естественных и культурных растений Синонимами термина заболоченность почв являются, таким образом, «экологическое» переувлажнение почв, «экологическое» избыточное увлажнение почв (для сельскохозяйственных культур, лесных насаждений и др.).

быть безусловно заболоченной. Отметим, что чаще заболоченные почвы относятся к почвам гидроморфного ряда, т.е. обладают определенными признаками гидроморфизма. Поэтому обычно заболоченные почвы представляют собой ту часть почв гидроморфного ряда (или все гидроморфные почвы), использование которых для возделывания определенных групп или всех культур невозможно без осушения. Следует обратить особое внимание и на то, что большинство классификаций, используемых в настоящее время в практике (особенно в землеустроительной и агрономической), основано на различиях почв по степени проявления только морфологических признаков гидроморфизма. При разработке таких классификаций не предпринимались попытки раскрыть реальную гидрологию почв, их свойства как среды обитания растений и продуктивность. Поэтому они не позволяют, в частности, объективно оценить целесообразность осушения минеральных почв. Если при этом учесть, что существуют огромные массивы явно переувлажненных почв, нередко показанных на почвенных картах как незаболоченные, то станет понятным, какое значение в настоящее время приобретает рациональная классификация почв, построенная на эколого-гидрологических принципах, т.е. классификация почв по степени их заболоченности.

6.1. Принципы построения эколого-гидрологической классификации почв по степени их заболоченности для решения мелиоративных и агрономических задач по методу Ф.Р. Зайдельмана

Классификация почв по степени заболоченности в соответствии с общими принципами изучения гидрологического режима почв, изложенными выше, должна строиться на анализе:

1) причин заболачивания почв и их генезиса;
2) приуроченности почв к почвообразующим породам различного генезиса и состава;
3) особенностей климата почвенных провинций каждой природной подзоны и зоны;
4) возможности использования почв разной степени гидроморфизма в естественном (т.е. не осушенном) состоянии;

5) продуктивности сельскохозяйственных культур;
6) режимов почв в естественном и мелиорированном состоянии в годы разной влажности.

Впервые необходимость диагностики и классификации почв по степени заболоченности и принципиальное отличие степени гидроморфизма от степени заболоченности были сформулированы автором около 40 лет тому назад [Зайдельман, 1965]. Затем была раскрыта сущность эколого-гидрологического подхода к оценке степени заболоченности минеральных почв гумидных ландшафтов [Зайдельман, 1985] и на основе многолетних эколого-гидрологических стационарных исследований разработаны диагностика и классификация основных групп почв центра Нечерноземной зоны и сопредельных областей по степени заболоченности [Зайдельман, 1987]. Определяющее значение для построения такой классификации приобретают сведения о гидрологическом режиме почв и их продуктивности. Основные итоги этой работы рассмотрены ниже. Естественно, что предпринятые исследования не являются законченными и должны быть продолжены на рассмотренной выше принципиальной основе. Вместе с тем следует обратить внимание на ряд общих положений, которые необходимо учитывать при разработке классификации почв по степени заболоченности.

Во-первых, почвы могут обладать четкими признаками гидроморфизма и вместе с тем сохранять благоприятные или оптимальные экологические условия для роста, развития и формирования урожая всех или большинства сельскохозяйственных культур.

Во-вторых, почвы могут обладать лишь слабыми признаками гидроморфизма и, тем не менее, являться несомненно заболоченными.

В-третьих, степень заболоченности почв относительна, поскольку она обусловлена, с одной стороны, гидрологическим режимом почв, а с другой — требованиями различных групп растений к экологическим условиям. Поэтому определенные минеральные гидроморфные почвы могут рассматриваться как заболоченные при оценке их экологических условий в связи с размещением одних культур (например, садов, озимых зерновых), однако эти же почвы могут оказаться незаболоченными при рассмотрении их свойств для размещения культурных лугов, пастбищ и других угодий или культур. Только такая диалектическая оценка заболоченности минеральных почв может обеспечить их целесообразную мелиорацию и эффективное сельскохозяйственное использование, применение альтернативных решений.

Вместе с тем для диагностики почв по степени заболоченности, очевидно, следует всегда использовать стабильные признаки гидроморфизма.

В-четвертых, диагностика и классификация почв, построенные на эколого-гидрологической основе, не исключают или снижают, а напротив, повышают значимость морфологических полевых исследований, делают их более информативными, так как появляется возможность раскрыть существующие взаимосвязи между морфологией почв и их режимом.

Наконец, в-пятых, поскольку для классификации почв по степени заболоченности необходимо получение новой информации по характеристике морфогенетических свойств почв, их режимов, возможности использования в естественных условиях и целесообразности осушения, то она является дальнейшим развитием общегенетической классификации почв гумидных ландшафтов.

В связи с рассматриваемой проблемой классификации почв по степени заболоченности необходимо остановиться и еще на двух вопросах. При полевом изучении почв на основе их эколого-гидрологической классификации по степени заболоченности и на основе визуальной классификации по степени гидроморфизма в конечном итоге привлекаются морфологические тесты (критерии). Казалось бы, это сближает или делает тождественными рассматриваемые подходы. Однако такое заключение неверно и вот почему. В первом случае для построения классификации почв по степени заболоченности выдел низшего таксономического уровня должен быть всегда обоснован предшествующими эколого-гидрологическимл исследованиями. Только после этого можно переходить к детальной характеристике такого выдела по морфологическим и аналитическим критериям. Во втором случае при разработке классификации на визуальной морфологической основе выдел обоснован лишь различием проявления морфологических признаков гидроморфизма. Такие визуальные различия устанавливают быстро и классификации почв по степени гидроморфизма создаются в течение короткого периода. Однако поскольку они не связаны с режимом почв, их продуктивностью и другими факторами, определяющими характер использования, прикладные рекомендации в таких классификациях либо отсутствуют, либо всегда интуитивны. По существу, в этом последнем случае разработка классификации начинается и заканчивается только под-

бором визуальных морфологических тестов, что в настоящее время по отмеченным выше причинам следует признать безусловно недостаточным. Рисунок 6.1 иллюстрирует принципиальные различия этих двух подходов к классификации минеральных почв гумидных ландшафтов [Зайдельман, 1984]. Таким образом, при классификации

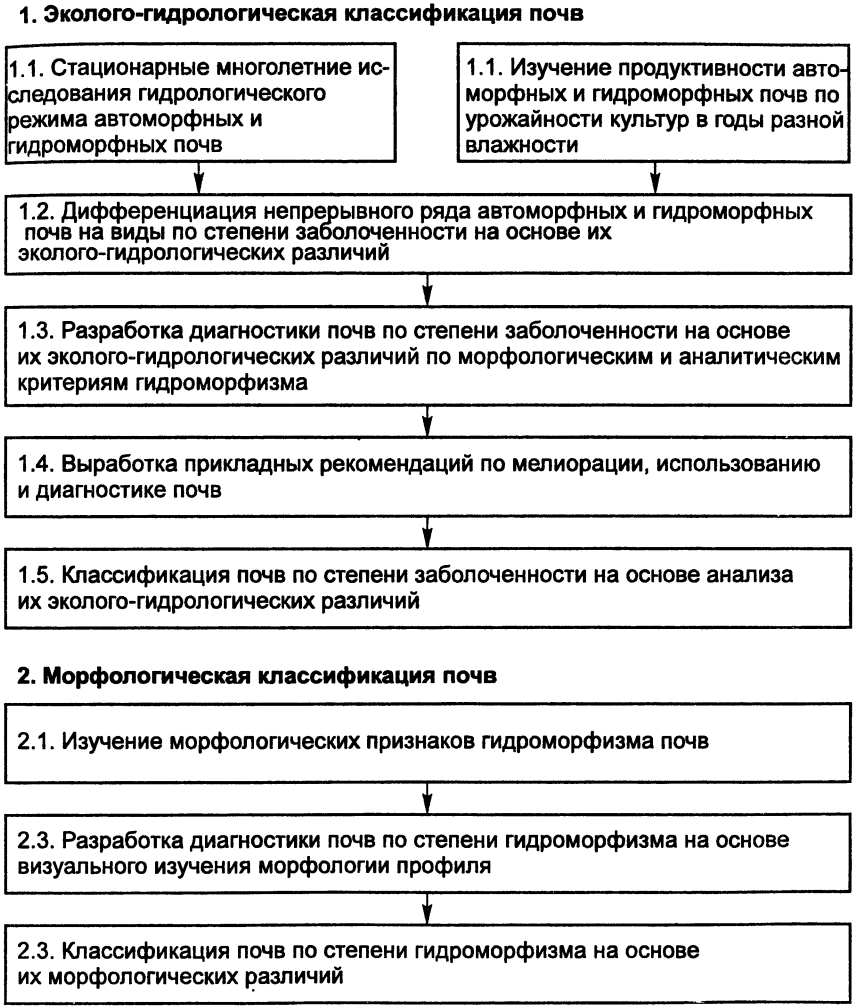


Рис. 6.1. **Содержание работ, необходимых для подготовки классификаций почв по степени заболоченности (*1*) и по степени гидроморфизма (*2*)**

почв по степени заболоченности необходима их характеристика по трем следующим параметрам:

1) возможность сельскохозяйственного использования почв в естественном состоянии;
2) целесообразность осушения;
3) диагностика степени заболоченности по признакам гидроморфизма.

Эта триединая оценка позволяет решать все актуальные прикладные задачи в отношении каждой генетической группы почв.

Факторы, определяющие дифференциацию минеральных почв по степени заболоченности, и информационное значение понятия — степень заболоченности почв — показаны на рис. 6.2.

Эколого-гидрологическая классификация почв по степени заболоченности предполагает изучение свойств, режимов и продуктивности непрерывного ряда почв, образующих континуум в границах катены, однородной по генезису и составу почвообразующих пород почвенно-географической провинции. Задачи исследователя в этом случае заключаются в том, чтобы на основе получаемых данных подразделить такой континуум на отдельные виды, значимо различающихся по особенностям водного режима и урожайности районированных сельскохозяйственных культур в годы разной обеспеченности осадками.

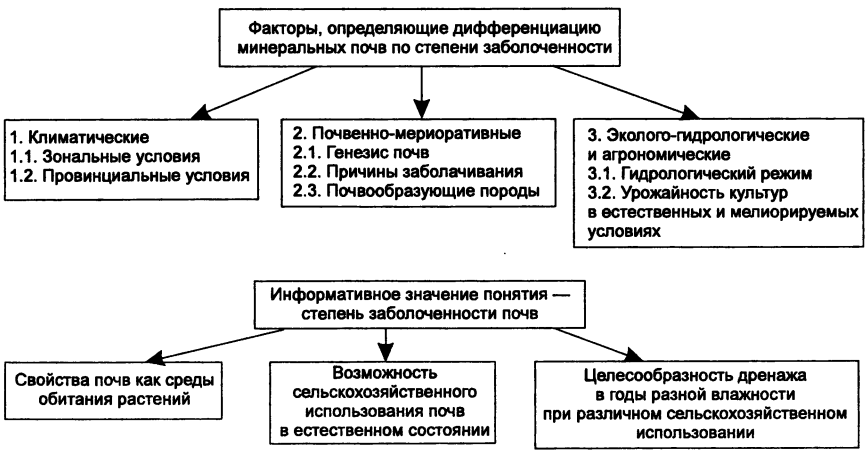


Рис. 6.2. **Факторы дифференциации почв по степени заболоченности и ее информативное значение**

Поэтому число пунктов наблюдений в границах каждой катены должно быть достаточно детальным для того, чтобы обеспечить достоверную дифференциацию каждого континуума на составляющие его виды почв. После этого для каждого вида почв разрабатывается индивидуальная диагностика (морфогенетическая и аналитическая), основанная на количественных критериях.

Таким образом, диагностика каждой группы почв должна быть дана для видов, образующих непрерывный ряд, т.е. так, как обычно встречаются такие почвы в естественных условиях.

Поскольку минеральные гидроморфные почвы представляют непрерывный ряд видов с нарастающей степенью проявления признаков гидроморфизма, задача прикладной диагностики и классификации заключается в том, чтобы выделить виды почвы с такими интервалами этих признаков, которые отражают *тождественные или близкие* их гидрологические, производственные и экологические особенности. Поэтому каждый вид почв следует характеризовать определенным интервалом морфогенетических и химических признаков, заключенных между признаками граничных видов.

В дальнейшем при выполнении работ по почвенно-мелиоративному картированию используют только эти диагностические критерии, позволяющие интерполировать установленную ранее в ходе стационарных исследований эколого-гидрологическую характеристику каждого вида почв на аналогичные по генезису, составу и свойствам почвы других мелиоративных объектов в границах почвенно-географической провинции. К изложенному необходимо добавить, что для обозначения почв разной степени заболоченности независимо от их генезиса, состава и причин заболачивания принята унифицированная номенклатура. Почвы подразделяют на неоглеенные, глубокооглеенные, глееватые и глеевые при профильном оглеении. При поверхностном оглеении (т.е. при наличии оглеенных горизонтов выше 60–70 см) и отсутствии морфологических признаков оглеения глубже 70 см почвы относят к поверхностно оглеенным. В этом последнем случае их подразделяют на поверхностно слабоглееватые, поверхностно глееватые, поверхностно глеевые.

При этом к *неоглеенным* всегда относят почвы, в профиле которых четкие признаки морфохроматического оглеения находятся глубже 1,3 м или отсутствуют вообще. При оценке цветовых признаков огле-

ения следует иметь в виду их определенные различия в зависимости от характера почвообразующих пород. На легких (песчаных, супесчаных флювиогляциальных, моренных, аллювиальных) породах при оглеении обычно возникают тона светло-серой, белесоватой и сизовато-белесой окраски; на карбонатных породах при оглеении формируются сизо-серые, голубовато-сизые, иногда зеленовато-сизые тона. На кислых суглинистых отложениях преобладают синие, сизые, серые оттенки. Вместе с тем следует подчеркнуть, что минеральные гидроморфные почвы могут и не нести устойчивые цветовые (морфохроматические) признаки оглеения. Цветовые признаки оглеения являются весьма *распространенным, но не исключительным* морфологическим признаком минеральных гидроморфных почв. Так, на карбонатных моренных и других отложениях с высоким содержанием извести широко представлены минеральные гидроморфные почвы, не несущие четких морфохроматических признаков оглеения, но отличающиеся длительным обводнением в теплый период, накоплением в поверхностных слоях грубого гумуса и их заметным оторфованием.

Однако, несмотря на общность номенклатуры, эти почвы обычно обладают четкими эколого-гидрологическими различиями и строго индивидуальной системой диагностических признаков, свойственных каждой *группе почв* определенного генезиса, причин заболачивания и состава. Поэтому при их полевой диагностике необходимо использовать не один признак гидроморфизма (например, оглеение профиля), а всю гамму признаков, свидетельствующую о гидроморфизме почв. Особое значение в этой связи имеет предложенная автором оценка минеральных почв по индексу степени заболоченности [Зайдельман, 1984, 1991].

6.2. Определение индекса степени заболоченности по методу Ф.Р. Зайдельмана

Индекс степени заболоченности (ИСЗ) позволяет количественно сопоставить степень заболоченности данного вида в ряду почв одной мелиоративной группы. Кроме того, с его помощью появляется возможность их сравнительной оценки на разных по генезису и составу почвообразующих породах по потребности в осушении. Для коли-

чественной оценки степени заболоченности почв и целесообразности их осушения в явном, а не скрытом виде, как это принято в настоящее время, предлагается в прикладных классификациях ввести ее характеристику непосредственно в наименование почвы. Это удобно сделать с помощью специального ИСЗ, придав ему цифровую форму. Индекс степени заболоченности следует располагать после полного наименования почвенной разновидности (например, дерново-сильноподзолистая глееватая супесчаная почва, ИСЗ-3). Шкала ИСЗ составлена на основе анализа эколого-гидрологических особенностей основных груш почв. Она отражает возможность их использования в естественном состоянии и необходимость осушения. Приведенные индексы разработаны для условий влажного года с расчетной обеспеченностью осадков.

Таким образом, рекомендуемое цифровое выражение степени заболоченности позволяет производить сравнительную характеристику почв по этому важнейшему параметру и сопоставлять целесообразность их осушения независимо от приуроченности к тем или иным почвообразующим породам и климатическим условиям (табл. 6.1). Этот способ характеристики степени заболоченности целесообразен как при крупномасштабных картографических работах, так и для мелкомасштабных мелиоративных схем и технико-экономических обоснований перспектив развития мелиоративного строительства и сельскохозяйственного производства в Нечерноземье.

Таблица 6.1

Индекс степени заболоченности (ИСЗ) минеральных почв европейской территории лесной зоны и целесообразность их осушения при сельскохозяйственном использовании

ИСЗ	Целесообразность осушения
0	Нецелесообразно при любом использовании
1	Только для садов*
2	Для садов и (или) озимых (в поймах — для садов и теплолюбивых пропашных)
3	Для садов, озимых зерновых, картофеля
4	Для садов, озимых зерновых, картофеля и пастбищ
5	Для садов, всех зерновых, картофеля, пастбищ
6	Для садов, всех зерновых, картофеля, овощных, льна, пастбищ
7	Для садов, всех зерновых, картофеля, овощных, льна, пастбищ, культурных сенокосов
8	При любом использовании, кроме улучшенных сенокосов

Продолжение таблицы 6.1

ИСЗ	Целесообразность осушения
9	При любом использовании, кроме естественных сенокосов**

* Садовые деревья с глубокой корневой системой.
** Здесь и далее дана оценка возможности размещения без осушения на оглеенных почвах сенокосов. Различают три вида сенокосов: 1. Сенокосы естественные. Видовой состав — преимущественно влаголюбивые злаковые травы. На водоразделах — лисохвост, тимофеевка, единично щучка, редко клевер белый и другие устойчивые к переувлажнению компоненты. В поймах — канареечник, бекмания, вейник. 2. Сенокосы улучшенные. Видовой состав — преимущественно влаголюбивые злаковые травы, подсеянные при поверхностном улучшении естественного сенокоса. В центре Нечерноземной зоны на водораздельных участках — преимущественно тимофеевка. В поймах — тимофеевка, бекмания, канареечник. 3. Сенокосы культурные, на которых можно возделывать посевы злаковых и бобовых трав. В центре Нечерноземья — обычно культура травосмеси клевера и тимофеевки или чистые посевы клевера (клевер красный, клевер розовый), причем бобовые на таких сенокосах не испытывают угнетения от переувлажнения.

Как следует из приведенных данных, все почвы независимо от их генезиса, гранулометрического состава, причин заболачивания, окультуренности и других признаков дифференцируют на 10 групп. Первая объединяет почвы, гидрологический режим которых позволяет возделывать все сельскохозяйственные культуры, районированные в пределах рассматриваемого региона. Экологическое переувлажнение сельскохозяйственных культур на этих почвах в годы расчетной обеспеченности (10%) осадков исключено. Эта группа почв имеет ИСЗ = 0. Последняя группа с ИСЗ = 9 объединяет почвы, в которых экологическое переувлажнение во влажные годы исключает возможность возделывания всех сельскохозяйственных культур. Единственная возможность их использования без дренажа в годы с обеспеченностью осадками 10% – размещение естественных сенокосов. Остальные восемь групп почв отличаются тем, что в них постепенно возрастает продолжительность экологического переувлажнения и закономерно сокращается набор культур, способных выдерживать без ущерба для урожая прогрессивно увеличивающийся анаэробный период в годы расчетной обеспеченности.

Шкала ИСЗ подчеркивает также и то существенное обстоятельство, что почвы начальных стадий заболачивания Нечерноземья обычно можно широко вовлекать в сельскохозяйственное производство без осушения. Их индекс степени заболоченности при этом не превышает 0–2. Вместе с тем в этом регионе существует определенная группа почв со слабо выраженными признаками гидро-

морфизма (см. табл. 6.2, пп. 3 и 6), но высокими значениями ИСЗ (2–6) В этих случаях при размещении полевых севооборотов осушение обычно оказывается необходимым.

Таблица 6.2

Индекс степени заболоченности почв основных сельскохозяйственных территорий Европейского Нечерноземья в зависимости от гранулометрического состава и генезиса почвообразующих пород

Степень заболоченности	Индекс степени заболоченности бурых, дерново-подзолистых и болотно-подзолистых почв (1, 2, 3), дерново-подзолистых и болотно-подзолистых почв (4, 5, 6) на					
	1) мощных флювиогляциальных супесях и песках	2) среднемощных флювиогляциальных двучленах	3) маломощных флювиогляциальных двучленах	4) легко- и среднесуглинистых покровных лессовидных отложениях	5) тяжелосуглинистых и глинистых покровных лессовидных отложениях	6) тяжелых ленточных (лимногляциальных глинах)
Неогленные	0	0	0	0	0	2
Глубокоогленные	0	0	6	0	1	4
Слабоглееватые	–	2	–	4	–	6
Глееватые	3	6	8	5	7	8
Глеевые	7	9	9	7	9	9

Таким образом, индекс степени заболоченности позволяет судить о целесообразности осушения почв с естественным водным режимом. Достоинство этого метода — возможность его использования и для осушенных почв объектов реконструкции, обладающих вторичным водным режимом. В этом случае, очевидно, необходимы сведения об урожайности сельскохозяйственных культур в пределах мелиорированного массива. Для расширения ареала применения метода характеристики степени заболоченности ранее осушенных почв по ИСЗ целесообразно его сочетание с морфологической диагностикой почвенного профиля.

На основе определения индекса степени заболоченности может быть определено, кроме того, и снижение урожая в результате переувлажнения трех основных групп сельскохозяйственных культур — зерновых овощных и трав. Потери урожая на заболоченных почвах можно установить по ИСЗ, используя таблицу М.Е. Гинзбурга (см. табл. 6.3).

Таблица 6.3

Поправочные коэффициенты на урожайность куяьтур в зависимости от индекса степени заболоченности почв

Индекс степени заболоченности	Культуры		
	зерновые	пропашные с картофелем	однолетние и многолетние травы
0	1,00	1,00	1,00
1	1,05	1,00	1,20
2	0,95	0,95	1,00
3	0,90	0,85	1,00
4	0,90	0,80	0,95
5	0,85	0,70	0,95
6	0,75	0,60	0,90
7	0,45	0,30	0,80
8	0,30	0,15	0,55
9	0,15	0,10	0,30

Очевидно, разница в урожае для почв с ИСЗ 0 и индексом искомой почвы показывает потери урожая от переувлажнения в годы расчетной (10%) обеспеченности осадками. Таким образом с помощью индекса степени заболоченности может быть установлена в первом приближении экономическая эффективность мелиорации почв изучаемого массива.

Все эти данные позволили автору разработать классификацию почв по степени заболоченности для территории Восточно-Европейской равнины. Она подготовлена в форме таблиц, приведенных ниже, каждая из которых несет информацию о видах почв мелиоративной группы, т.е. общность почв с естественными причинами увлажнения и заболачивания, на одних и тех же по генезису и составу почвообразующих породах, в границах определенной почвенно-географической провинции.

Диагностические таблицы состоят из трех основных разделов. В первом отражены индекс степени заболоченности (ИСЗ) почв и их характеристика по химическим диагностическим признакам (коэффициентам заболоченности по соотношению железа к марганцу, оптической плотностью пирофосфатной вытяжки и др.). Во втором приведена информация о детальных цветовых морфологических признаках оглеения почв, их кутан, ортштейнов, ортзандах и других новообразований, особенностях подзолистых и иллювиальных гори-

зонтов. Третья часть диагностических таблиц содержит информацию о возможности сельскохозяйственного использования почв в естественном состоянии (без дренажа) в сухие, средние и во влажные годы, а также сведения о целесообразности осушения почв в годы 10%-ной обеспеченности осадков.

6.3. Эколого-гидрологическая классификация почв и их диагностика по степени заболоченности (на примере Восточно-Европейской равнины) по методу Ф.Р. Зайдельмана

Разнообразие факторов почвообразования в Нечерноземной зоне (климатических условий, почвообразующих пород, рельефа и др.) формирует здесь сложный и разнообразный в генетическом отношении почвенный покров. Вслед за А.А. Роде следует признать, что важнейшим почвообразователем в гумидных ландшафтах является водный режим почв. Для того, чтобы понять условия формирования почв гумидных ландшафтов и их морфогенез, раскрыть особенности почв как естественного образования и как объекта хозяйственной деятельности человека, следует прежде всего изучить водный режим почв в естественных условиях, не измененных влиянием гидротехнических факторов.

В гумидной зоне, естественно, особый интерес в генетическом, агрономическом и мелиоративном отношениях представляют режимы отдельных видов почв, образующих непрерывные ряды в различных ландшафтах и отличающихся разной степенью проявления признаков гидроморфизма. До недавнего времени эти сведения оставались крайне ограниченными и относились главным образом к автоморфным почвам, поскольку они считались абсолютно доминирующими в зоне избыточного увлажнения. Вместе с тем здесь широко распространены минеральные гидроморфные почвы разной степени заболоченности, представляющие особый интерес в генетическом и прикладном отношениях. Возникла необходимость одновременного и детального изучения гидрологического режима и экологических особенностей всей непрерывной совокупности почв ландшафта в целом. В этом учебнике изложены результаты таких многолетних стационарных гидрологических исследований почв Нечерноземной

зоны в условиях полесий и ополий, озерно-ледниковых и пойменных, покровно-моренных и других ландшафтов. Для каждого ландшафта изучен водный режим почв хорошо дренированных водоразделов и склонов, плакоров и заболоченных депрессий. На основе этих исследований оказалось возможным раскрыть и оценить изменения водного режима непрерывных рядов почв основных гумидных ландшафтов в пространстве и во времени, понять особенности водного режима почв, «скрывающегося» за морфологией почвенного профиля, и установить закономерности формирования своеобразной морфологии минеральных автоморфных и гидроморфных почв гумидных ландшафтов. При этом был обнаружен современный характер взаимосвязей между морфологией почв и их актуальным водным режимом. Эти сведения показали, в частности, целесообразность поиска обратных связей, необходимость и возможность использования яркой и информативной морфологии гидроморфных почв для интерпретации их водного режима при полевых картографических изысканиях и исследованиях. Значение предпринятых исследований заключалось, однако, не только в поиске этих взаимосвязей.

Особое значение предпринятые исследования приобретают в связи с оценкой почв гумидных ландшафтов как объекта труда и, прежде всего, как объекта мелиорации и сельскохозяйственного использования. Морфологические критерии оказались полезными, но недостаточными параметрами для решения всей суммы проблем, в той или иной мере связанных с использованием почв и регулированием их водного режима. Оказалось необходимым дать количественную оценку водного режима почв разной степени гидроморфизма, обосновать дифференциацию почвенного континуума на отдельные виды почв по степени их заболоченности на основе однородности свойственных им эколого-гидрологических условий, оценить различия урожайности культур на почвах разной степени гидроморфизма и целесообразный характер их использования в условиях естественного режима.

Для решения этих вопросов был разработан и широко использован метод эколого-гидрологического анализа. Его сущность заключается в дифференциации почвенных континуумов на виды почв по степени заболоченности, по однородности гидрологических условий и общности свойств почв как среды обитания сельскохозяйственных культур.

Метод оказался необходимым и эффективным при решении многих агрономических и мелиоративных проблем[1].

Ниже в табл. 6.4–6.13 приведены эколого-гидрологическая классификация почв, их диагностика и оценка целесообразности мелиорации.

6.4. Эколого-экономический расчет целесообразности осушения почв разной степени заболоченности по методу Ф.Р. Зайдельмана

Одна из центральных проблем мелиоративного почвоведения — оценка целесообразности осушения минеральных почв разной степени гидроморфизма. Исходя из требований к дренажу (создание благоприятных условий для сельскохозяйственного производства в годы 10%-ной обеспеченности осадков), автором на основе рассмотренных выше эколого-гидрологических и других данных [Зайдельман, 1985, 1988, 1991; и др.] была разработана прикладная мелиоративная и сельскохозяйственная классификация заболоченных почв основных территорий Европейского Нечерноземья в пределах южнотаежной подзоны и зоны широколиственных лесов. Такой подход может быть реализован и в других сельскохозяйственных регионах. В этом смысле эколого-гидрологический принцип классификации заболоченных почв является универсальным.

Как показывают исследования, почвы можно дифференцировать на три группы, в рамках которых растения по-разному реагируют на свойственный им гидрологический режим и гидроморфизм.

Во-первых, преимущественно глубокооглеенные почвы, на которых независимо от влажности года всегда получают такой же или более высокий урожай, что и на автоморфных почвах. Кратковременное переувлажнение, вызывая появление здесь слабых признаков гидроморфизма, обычно способствует формированию бо-

[1] Основные результаты этих работ впервые были опубликованы во втором издании «Рекомендаций по диагностике степени заболоченности минеральных почв Нечерноземной зоны РСФСР и оценки целесообразности их осушения» (пособие к ВСН-33-21-84), 1987. Рассмотрены и одобрены НТС Минводхоза СССР 4 сентября 1984 г. Протокол НТС № 422. Введены в действие с 1 января 1987 г. Составлены проф. Ф.Р. Зайдельманом.

Таблица 6.4

Диагностика степени заболоченности и оценка целесообразности осушения тяжелосуглинистых и глинистых почв подзолистого и болотно-подзолистого типов на тяжелых лессовидных покровных породах, увлажняемых или заболоченных поверхностными водами (Зайдельман, Виноградов, 1964; Зайдельман, 1968)

Виды почв по степени заболоченности	Индекс степени заболоченности	Диагностические признаки гидроморфизма						Возможность сельскохозяйственного использования почв в естественном состоянии (без дренажа)		Целесообразность осушения в годы с обеспеченностью осадками менее 10%
		химические	морфологические							
		коэф. заболоченности ($K_з$ = Fe/Mn)	цветовые признаки оглеения	горизонты		окраска кутан	ортштейны гор. A2, примазки гор. B и другие типичные новообразования	в сухие и средние годы	во влажные годы	
				A2	A2B, B, G					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Дерново-подзолистая	0	менее 3	Отсутствуют в верхней 1,3 м толще	A2	B1	Розовато-коричневатая	Редкие мелкие темно-серые Mn–Fe ортштейны и примазки	Возделывание всех культур		Нецелесообразно
Дерново-(сильно)подзолистая глубокооглеенная	1	3–7	Вертикальные пятна оглеения глубже 1 м; во влажные годы — отдельные пятна глубже 0,9 м	$A2_{fs}$	B1 $B2_{fg'}$	То же Сероватая, охристо-желтая	Обилие серых и мелких бурых ортштейнов, обилие примазок	Возделывание всех культур	Возделывание всех культур; при оглеении выше 1,3 м — осушение для садов	Только при размещении плодовых культур с глубокой корневой системой на почвах с оглеением выше 1,3 м

Продолжение таблицы 6.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Дерново-подзолистая глееватая	7	7–30	Интенсивное оглеение глубже 0,70–0,75 м	$A2_{fs,g''}$	$B2_{mr,g''}$	Серая	Обилие мелких и крупных бурых ортштейнов; в гор. В примазки, аморфные пятна Fe и Mn	Возделывание овса, капусты, турнепса, луговых трав	Возделывание только тимофеевки, белого клевера. Естественные и искусственные луга	При размещении зерновых, овощных, кормовых культур, садов и пастбищ. Без осушения — злаковые луга
Дерново-(слабо)подзолистая глеевая	9	более 30	Интенсивное оглеение всего профиля	$A2_{fs,g'''}$	$B_{mr,g'''}$ G_{mr}	Сизовато-серая, голубовато-серая	Бурые железистые ортштейны меньше, чем в глееватой почве	Возделывание всех культур без осушения невозможно	Целесообразно для всех культур	

Таблица 6.5

Диагностика степени заболоченности и оценка целесообразности осушения легко- и среднесуглинистых почв подзолистого и болотно-подзолистого типов на суглинистых лессовидных породах, увлажняемых или заболоченных поверхностными водами* (Зайдельман, 1975; Зайдельман, Лыков, 1975)

Виды почв по степени заболоченности	Индекс степени заболоченности	Диагностические признаки гидроморфизма						Возможность сельскохозяйственного использования почв в естественном состоянии (без дренажа)		Целесообразность осушения в годы с обеспеченностью осадками менее 10%
		химические	морфологические							
		коэф. заболоченности ($K_з$ = Fe/Mn)	цветовые признаки оглеения	горизонты		окраска кутан	ортштейны гор. А2, примазки гор. В и другие типичные новообразования	в сухие и средние годы	во влажные годы	
				A2	B, G					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Дерново-средне подзолистая	0	менее 3	Отсутствуют в верхней 130 см толще	A2	B	Розовато-коричневая	Редкие мелкие темно-серые Mn – Fe ортштейны и примазки	Возможно возделывание всех культур		Осушение нецелесообразно для всех культур
Дерново-сильно(средне) подзолистая глубокооглеенная	1	3,0–7,0	Оглеение в виде вертикальных полос с глубины 100 см и глубже	$A2_{fs}$	$B1_t$ $B2_{t,g'}$	Розовато-коричневая Серовато-коричневая	Много мелких темно-серых Mn – Fe ортштейнов и примазок. С глубины 70 см — рассеянные охристые пятна	Возможно возделывание всех культур	При интенсивном оглеении выше 1,3 м — осушение для садов	Осушение нецелесообразно для всех полевых культур. При оглеении выше 1,3 м необходимо осушение для садовых деревьев с глубокой корневой системой

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Дерново-сильноподзолистая слабоглееватая	4	7,0–10,0	Интенсивное оглеение с глубины 75–80 см и глубже	$A2_{fs}$ глубокие оподзоленные затеки до 100–120 см	$B1_{t,g'}$ $B2_{mr,g''}$	Серовато-коричневая Серая	Много мелких темно-серых и бурых ортштейнов, обилие примазок. С глубины 50 см — рассеянные охристые пятна	Возможно возделывание всех культур	Возможно возделывание всех культур, кроме озимых зерновых и садовых деревьев с глубокой корневой системой	Осушение для озимых зерновых, садов, пастбищ. Без осушения — все яровые, культурные сенокосы
Дерново-среднеподзолистая глееватая	6	10,0–30,0	Интенсивное оглеение с глубины 60 см и глубже	$A2_{fs,g'}$	$B_{mr,g''}$	Серая	Много крупных и мелких бурых ортштейнов, обилие примазок. С глубины 40 см и глубже — рассеянные охристые пятна	Возделывание всех культур, кроме озимых зерновых	Возможно возделывание влаголюбивых культур — капусты, турнепса, вико-овсяной смеси и луговых трав	Осушение для большинства зерновых, овощных, кормовых культур, садов, пастбищ. Без осушения — культурные сенокосы

Продолжение таблицы 6.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	11
Дерново-среднеподзолистая глеевая	7	более 30	Интенсивное оглеение глубже 40 см	$A2_{fs,g''}$	$B_{mr,g''}$ G_{mr}	Сизовато-серая, голубовато-серая	Мелкие и крупные бурые ортштейны; крупные трубчатые конкреции; темные примазки; в горизонте А1 — мелкие гумус-алюминиевые конкреции	Возможно использование только как естественных сенокосов невысокого качества	Осушение при любом интенсивном использовании. Без осушения — естественные и улучшенные сенокосы

* Если дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы на покровных породах образованы на гранулометрическом двучлене и ниже толщи 0,6 м среднего суглинка залегает тяжелый суглинок или глина с $K_ф \leq 0{,}01$ м/сут, то диагностику почв и оценку целесообразности их осушения производят в соответствии с указаниями табл. 6.4.

Таблица 6.6

Диагностика степени заболоченности и оценка целесообразности осушения глинистых подзолистых и болотно-подзолистых почв на тонкослоистых ленточных глинах, увлажняемых или заболоченных поверхностными водами (Зайдельман, Якименко, Жиров, Гинзбург, 1983)

Виды почв по степени заболоченности	Индекс степени заболоченности	Диагностические признаки гидроморфизма						Возможность сельскохозяйственного использования почв в естественном состоянии (без дренажа)		Целесообразность осушения в годы с обеспеченностью осадков менее 10%
		химические	морфологические							
		коэф. заболоченности ($K_з$ = Fe/Mn)	цветовые признаки оглеения	горизонты: A2	горизонты: B	окраска кутан	ортштейны гор. A2, примазки гор. B и другие типичные новообразования	в сухие и средние годы	во влажные годы	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Дерново-среднеподзолистая*	2	< 30	Морфохроматические признаки оглеения отсутствуют по всему профилю	A2	B1	Красновато-бурая	Преобладают мелкие единичные темноокрашенные ортштейны	Возможно возделывание всех культур	Возможно возделывание всех культур, кроме озимых зерновых и садов	Осушение для озимых зерновых культур и садов
Дерново-средне (сильно) подзолистая слабоглеватая	6	< 30	Оглеение в виде пятен в переходном горизонте A2B; мелкие пятна оглеения по ходу корней и трещин в верхней метровой толще	$A2_{fs}$	$A2B_{g'}$	Буровато-серая	Много мелких темно-серых Mn–Fe ортштейнов и примазок. С глубины 50 см — рассеянные охристые пятна	Возможно возделывание всех культур	Возможно возделывание зернобобовых, многолетних трав	Осушение для озимых и яровых зерновых культур, картофеля, пастбищ, садов. Без осушения — культурные сенокосы

Продолжение таблицы 6.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Дерново-среднеподзолистая глееватая	8	30–140	Сизоватый оттенок гор. A1, Ap, A2 и A2B; крупные пятна оглеения по вертикальным трещинам профиля	$A2_{fs,g''}$	$B1_{mr,g''}$ $B2_{mr,g''}$	Серовато-сизая Сизая	Обилие мелких и крупных бурых ортштейнов; в гор. B примазки, аморфные пятна Fe и Mn	Без осушения возделывание всех культур невозможно (за исключением влаголюбивых злаковых трав)		Осушение при размещении зерновых, овощных кормовых культур, садов, пастбищ, культурных сенокосов. Без осушения — естественные или улучшенные сенокосы
Дерново-слабо (средне) подзолистая глеевая	9	> 140	Интенсивное оглеение всего профиля	$A2_{g',,}$	$B_{mr,g'''}$	Сизо-серая	Бурые железистые ортштейны меньше, чем в глееватой почве. Мелкие черные пятна	Возделывание всех культур без осушения невозможно		Осушение при любом использовании

* Приведены рекомендации для неоглеенных почв при уклонах поверхности менее 0,003; при больших уклонах осушение неоглеенных почв нецелесообразно.

Таблица 6.7

Диагностика степени заболоченности и оценка целесообразности осушения подзолистых и болотно-подзолистых почв на мощных супесчано-песчаных флювиогляциальных отложениях, увлажняемых или заболоченных слабоожелезненными грунтовыми водами* (Зайдельман, Закс, 1969, 1972; Зайдельман, 1988)

Почва	Индекс заболоченности	Диагностические признаки гидроморфизма почв						Возможность сельскохозяйственного использования почв в естественном состоянии (без дренажа) в годы		Целесообразность осушения в годы с обеспеченностью осадками менее 10%
		цветовые признаки оглеения	горизонты			псевдофибры, ортзанд	ортштейны и др. типичные новообразования	сухие и средние	во влажные	
			A2	ортзанд	G_r					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Бурая оподзоленная ортзандовая	0	Отсутствуют в верхней толще 0–130 см	Отсутствует	Мощность 20 см с глубины 110–120 см	120 см и глубже	Псевдофибры в верхней метровой толще; ортзанд плотно сцементированный	Нет	Возможно возделывание всех культур		Осушение нецелесообразно для всех культур

Продолжение таблицы 6.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9		11
Дерново-слабоподзолистая оргзандовая глубокоглеенная	0	Сизо-бурая окраска глубже 90 см; с глубины 100 см интенсивная сизая окраска	А2 пятнами или поверхностный	Мощность 20–30 см с глубины 90–100 см	100 см и глубже	Псевдофибры в гор. В; органа плотно сцементированный	Нет	Возможно использование для размещения всех культур, кроме садов с глубокой корневой системой		Осушение нецелесообразно для всех культур, кроме садов
Дерново-подзолистая оргзандовая глеватая	3	Интенсивная светло-серая или сероватo-сизая окраска глубже 80 см	А2	Мощность 30–40 см с глубины 60–70 см	80 см и глубже	Псевдофибры отсутствуют; органа не плотный	Темные и ржаво-охристые мягкие и редкие оттиски	Возможно размещение всех полевых, овощных и кормовых культур, сенокосных и пастбищных угодий	Возможно размещение большинства яровых — овса, ячменя, вико-овсяной смеси, капусты, турнепса и др.; пастбищ и сенокосов	Осушение целесообразно для садов, озимых зерновых, картофеля. Без осушения — пастбища, культурные сенокосы, влаголюбивые яровые культуры

1	2	3	4	5	6	7	8	9		11
Дерново-сильно (средне) подзолистая глеевая	7	Интенсивная светло-серая или серовато-сизая окраска глубже 60 см	$A2_{g'}$	Мощность 30–50 см с глубины 40–50 см	60 см и глубже	Псевдофибры отсутствуют; ортзанд рыхлый	Ржаво-охристые мягкие округлые новообразования; редко — крупные трубчатые конкреции	Возможно размещение сенокосных и пастбищных угодий, влаголюбивых яровых культур (овса, гороха, вико-овсяной смеси, брюквы, турнепса, капусты)	Без осушения — естественные и улучшенные сенокосы	Осушение необходимо при размещении всех озимых и яровых полевых культур, садов, пастбищ. Без осушения — естественные и улучшенные сенокосы
Торфянисто-подзолистая глеевая	9	Интенсивно оглеенная белесовато-серая толща песка глубже 10–30 с	$A2_{g'''}$	Нет	30 см и глубже	Псевдофибры и ортзанды отсутствуют	Нет	Естественные сенокосы низкого качества	Осушение необходимо при любом сельскохозяйственном использовании	

* Здесь рассмотрены признаки почв, заболоченных слабоожелезненными грунтовыми водами. При оценке целесообразности осушения легких подзолистых почв, заболоченных мягкими неожелезненными водами, руководящие диагностические признаки следующие: положение глеевого горизонта G_n, положение глеевого горизонта G_o, обычно соответствующее по мощности и глубине ортзандовому горизонту; степень выраженности и мощности гор. А2, железо-марганцевые новообразования и др. Рекомендации по осушению легких почв здесь даны для условий, не учитывающих дренирующее влияние проводящей сети. Такие коррективы необходимо предусматривать в проекте на основе дополнительного прогноза режима грунтовых вод после осушения массива с учетом дренирующей роли коллекторов и магистральных каналов. Нередко может оказаться нецелесообразным строительство дренажа в зоне распространения легких подзолистых глееватых и часто глеевых почв после осушения сильнозаболоченных (торфяных) почв. Поэтому на объектах, образованных рассматриваемыми в табл. 6.7 почвами, на мощных хорошо водопроницаемых породах при самотечном осушении площадь заболоченных почв оказывается, как правило, больше площади дренажа.

Таблица 6.8

Диагностика степени заболоченности и оценка целесообразности осушения подзолистых и болотно-подзолистых почв на маломощном двучлене — легкий (супечано-песчаный) нанос мощностью до 0,6 м на суглинистой слабокарбонатной морене, увлажняемых или заболоченных поверхностными водами (Зайдельман, Никифорова, 1982; Зайдельман, Никифорова, Жиров, 1980)

Вид почвы по степени заболоченности	Индекс заболоченности	Диагностика степени заболоченности почв по морфологическим и химическим признакам					Возможность сельскохозяйственного использования почв в естественном состоянии (без дренажа)		Целесообразность осушения в годы с обеспеченностью осадков менее 10%
		цветовые признаки оглеения	горизонты		Окраска кутан	Ортштейны, примазки горизонта В. Коэффициент заболоченности, $K_з = \frac{Fe}{Mn}$	В сухие и средние годы	Во влажные годы	
			A2	B и G					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Дерново-среднеподзолистая (контактно-подзолистая)	0	Отсутствуют в верхней толще 1,3 м толще	A2*	Bt	Красно-бурая	Преобладают мелкие, темно-серые ортштейны. Кз < 12	Возделывание всех культур		Нецелесообразно
Дерново-сильноподзолистая слабоглееватая	6	Вертикальные пятна оглеения с 0,8–1,0 м	A2fs	B1t, B2g	Серовато-фиолетовая	Мелкие бурые и темно-серые ортштейны, обилие примазок. Кз < 12	Возделывание только трав (бобовых и злаковых)		При размещении всех культур и пастбищ. Без осушения — культурные сенокосы

1	2	3	4	5	6	7	8	10
Дерново-сильноподзолистая (глубокоподзолистая) глееватая	8	Мраморовидное оглеение гор. В; густая сеть пятен оглеения в гор. А1–А2	A2fs, g'	Bmr,g"	Сероватая; серая с сизым оттенком	Обилие мелки и крупных бурых ортштейной. Кз > 12	Возделывание только злаковых трав	Для всех культур. Без осушения — естественные и улучшенные сенокосы
Дерново-среднеподзолистая глеевая	9	Интенсивное оглеение всех горизонтов профиля	A2fs, g"	Bmr,g", Gmr	Серовато-сизая	Бурые ортштейны. Кз > 12	Сельскохозяйственного значения без осушения не имеют	Целесообразно при любом сельскохозяйственном использовании

* На контакте — палевый.

Таблица 6.9

Диагностика степени заболоченности и оценка целесообразности осушения подзолистых и болотно-подзолистых почв на среднемощном двучлене — легкий (супечано-песчаный) нанос мощностью до 0,6–1,3 м на суглинистой карбонатной морене, увлажняемых или заболоченных поверхностными водами (Зайдельман, 1982, 1985)

Вид почвы по степени заболоченности	Индекс заболоченности	Диагностика степени заболоченности почв по морфологическим признакам					Возможность сельскохозяйственного использования почв в естественном состоянии (без дренажа)		Целесообразность осушения в годы с обеспеченностью осадков менее 10%
		цветовые признаки оглеения в верхней толще 160 см	горизонты		Ортштейны, примазки горизонта В и другие новообразования	Оглеение суглинистых моренных горизонтов на контакте с легкими супесачано-песчаными	В сухие и средние годы	Во влажные годы	
			A2	B и G					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Бурая	0	Отсутствуют	Отсутствуют	Желто-палевый	Нет	Оглеение не выражено; кутаны красовато-бурые — С2*	Возделывание всех культур		Нецелесообразно
Бурая оподзоленная глубокооглеенная	0	Отсутствуют	Отсутствует, единичные оподзоленные пятна	Грязно-палевый	Нет	Грани бурых структурных отдельностей сизовато-бурые; сизо-синие вертикальные полосы — С2g‘	Возделывание всех культур		Нецелесообразно

1	2	3	4	5	6	7	8		10
Дерново-подзолистая слабо-глееватая	2	Слабое оглеение (мелкие пятна) супесчаных иллювиальных горизонтов глубже 0,6 м	A2fs	Bg'	Гнезда мелких темноокрашенных ортштейнов. Скопление яркоокрашенной аморфной гидроокиси железа в надморенной толще	Грани структурных отдельностей сизовато-бурые; отдельные пятна оглеения — C2g'''	Возделывание всех яровых культур. Озимые культуры снижают урожаи		Осушение только для озимых зерновых культур. Без осушения — все яровые, пастбища, сады и культурные сенокосы
Дерново-средне (сильно) подзолистая глееватая	6	Слабое оглеение глубже 0,4 м; оглеение гор. В крупными пятнами	A2fs,g'	B1g', B2g''	Гнезда мелких темноокрашенных ортштейнов. Скопление яркоокрашенной аморфной гидроокиси железа в надморенной толще	Сизые вертикальные пятна; кутаны сизо-синей окраски, контактный моренный горизонт сильно оглеен — C2g'''	Возделывание яровых зерновых, пропашных культур (кроме картофеля), сеяных трав	Возделывание сеяных трав	Осушение целесообразно при размещении всех культур, пастбищ, садов. Без осушения — культурные сенокосы
Дерново-сильно-подзолистая глеевая	9	Интенсивное оглеение всего профиля	A2fs,g'	Bg''', Go	Обилие ржаво-бурых ортштейнов; яркоокрашенная аморфная гидроокись железа в надморенной толще	Моренные контактные горизонты интенсивно оглеенные — Go или Gr	Использование для естественных и влаголюбивых сеяных трав	Без осушения не пригодны для любого сельскохозяйственного использования	Осушение необходимо при любом сельскохозяйственном использовании

* C_2 — второй слой материнской породы.

Таблица 6.10

Диагностика степени заболоченности и оценка целесообразности осушения тяжелосуглинистых серых почв на тяжелых лессовидных покровных суглинках, увлажняемых или заболоченных поверхностными водами (Зайдельман, Рыдкин, 1983; Зайдельман, Рыдкин, Коломиец, 1985)

Вид почвы по степени заболоченности	Индекс заболоченности	Диагностика по химическим признакам Кз = Fe/Mn	Диагностика степени заболоченности почв по морфологическим признакам					Возможность сельскохозяйственного использования почв в естественном состоянии (без дренажа)		Целесообразность осушения в годы с обеспеченностью осадков менее 10%
			цветовые признаки оглеения	горизонты		Окраска кутан	Ортштейны, кремнеземистая присыпка и другие новообразования	В сухие и средние годы	Во влажные годы	
				A2	B и G					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Серая	0	Ортштейны отсутствуют	Отсутствуют в верхней толще 1,3 м толще	Нет	B	Темно-коричневая, бурая	Белесая кремнеземистая присыпка глубже 60 см	Возделывание всех культур		Нецелесообразно
Серая оподзоленная	0	< 7	Оглеение в виде вертикальных полос глубже 1,0 м	Нет	B	Темно-коричневая, бурая	Мелкие ортштейны в гор. Ap; пятна гидроокиси Fe и Mn глубже 1.0 м	То же		То же

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Серая оподзоленная слабоглеватая	2	7-14	Мелкие (точечные) пятна оглеения глубже 1,0 м	A2 (малом ощный 5–8 см)	B3g'	Серовато-коричневая	Мелкие темно-серые ортштейны в гор. A2 и Ap; пятна гидроокиси Fe и Mn глубже 1,0 м; обильная присыпка по всему профилю	Возможно возделывание всех культур	Снижение урожая озимых во влажные годы	Осушение для озимых зерновых и садов
Серая сильноподзоленная глееватая	8	14-26	Оглеение горизонтов A2fs,g" и Bmr,g	A2fs,g"	B1mr, g", B2mr, g'	Коричневато-серая	Крупные бурые ортштейны, аморфная гидроокись Fe и Mn с 0,6 м, обильная сизовато-белая присыпка	Возможно возделывание луговых трав	Возможно возделывание только злаковых трав	Осушение для зерновых, овощных, кормовых, садов. Без осушения — улучшенные сенокосы
Серая лесная сильноподзоленная глеевая	9	> 26	Интенсивное оглеение всех горизонтов профиля	A2g"	B1mr, g', B2mr, g", Go	Серовато-сизая; гумус-железистые натеки на поверхности структур	Единичные охристые ортштейны, аморфная гидроокись Fe, обильная сизовато-белесая присыпка	Возделывание всех культур без осушения невозможно		Целесообразно для всех культур

Таблица 6.11

Диагностика степени заболоченности и оценка целесообразности осушения тяжелых дерновых, луговых насыщенных и карбонатных пойменных почв на тяжелосуглинистом и глинистом аллювии, увлажняемых или заболоченных жесткими грунтовыми водами* (лесостепная зона) (Зайдельман, Селищев, 1981)

Вид почвы по степени заболоченности	Индекс заболоченности	Диагностика степени заболоченности почв по морфологическим признакам				Возможность сельскохозяйственного использования почв в естественном состоянии (без дренажа)		Целесообразность осушения в годы с обеспеченностью осадков менее 10%
		Горизонты**, верхняя граница						
		цветовые признаки оглеения	Ap Сегрегация железа	B, g''	Gfo	В сухие и средние годы	Во влажные годы	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Дерновые насыщенные неоглеенные	0	Отсутствуют в верхней толще 1,3 м толще	Сегрегационные скопления отсутствуют	1,1–1,2	2,00	Возделывание всех культур	Нецелесообразно	
Дерновые насыщенные глубокоглеенные	1	Сизоватые пятна глубже 0,9 м	То же	0,85–0,95	1,70–1,80	Возможно возделывание всех культур	Возможно возделывание всех культур, кроме садовых деревьев	Осушение необходимо только при размещении садовых деревьев с глубокой корневой системой
Луговые насыщенные слабоглееватые	2	Серовато-сизые пятна глубже 0,75 м	Не глубже 0,05–0,1 м; мелкие темно-окрашенные ортштейны	0,70–0,80	1,50–1,60	Возможно возделывание всех культур	Возможно возделывание всех культур, кроме садовых, кукурузы, картофеля	Осушение только для садов и теплолюбивых пропашных

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Луговые насыщенные глееватые	6	Серо-сизые пятна глубже 0,60 м	Не глубже 0,05–0,1 м; мелкие темно-окрашенные ортштейны	0,55–0,65	1,10–1,20	Возможно возделывание овса, капусты, брюквы, кормовой свеклы, луговых трав	Возможен посев бекмании, канареечника, лисохвоста, других трав	Осушение для зерновых, овощных, кормовых культур и пастбищ. Без осушения — культурные сенокосы
Луговые насыщенные глеевые	7	Серо-сизые пятна глубже 0,40 м	Сегрегационные железистые скопления отсутствуют	0,35–0,45	0,70–0,80	Возможен посев бекмании, канареечника, лисохвоста	Осушение для всех культур, кроме злаковых трав	Осушение для всех культур и пастбищ. Без осушения — естественные и улучшенные сенокосы

* При проектировании осушительных систем должен быть составлен прогноз их влияния на режим грунтовых вод территории объекта и ландшафта в соответствии с рекомендациями табл. 6.7.
** B, g" — горизонт угловатых известковых конкреций. Gfo — горизонт, обогащенный аморфной гидроокисью железа.

Таблица 6.12

Диагностика степени заболоченности и оценка целесообразности осушения тяжелых темнобурых дерновых зернистых пойменных почв на мощном тяжелосуглинистом и глинистом аллювии, увлажняемых и заболоченных намывными русловыми (поверхностными) водами (южнотаежная подзона) (Зайдельман, 1963, 1985)

Почва	Индекс заболоченности	Диагностические признаки гидроморфизма почв					Возможность сельскохозяйственного использования почв в естественном состоянии (без дренажа) в годы		Целесообразность осушения в годы с обеспеченностью осадков менее 10%
		цветовые признаки оглеения	горизонты		ортштейны	крупные корневые трубчатые конкреции	сухие и средние	во влажные	
			A1	G					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Дерновая зернистая*	0	Отсутствуют в верхней толще 0–130 см	A1	Нет	Mn–Fe темно-серые ортштейны единичные на глубине 70–100 см	Нет	Возможно возделывание всех культур		Осушение нецелесообразно при любом использовании
Дерновая зернистая глубокооглеенная	1	Сизо-бурая окраска глубже 90 см; с глубины 130 см интенсивная сизая окраска	A1	g"–g''' с глубины 90–100 см; G_r глубже 130 см	Темно-бурые Fe ортштейны обильно на глубине 70–80 см	Нет	Возможно возделывание всех культур	Возможно возделывание всех культур, кроме садовых деревьев	Осушение необходимо только при размещении садовых деревьев с глубокой корневой системой

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Дерновая зернистая глееватая	6	Сизо-бурая окраска глубже 60 см; с глубины 100 см интенсивная сизая окраска	$A1_{g'}$	g'" с глубины 60 см; Gr глубже 100 см	Бурые железистые ортштейны единично в поверхностных слоях	Бурые крупные трубчатые конкреции в оглеенных горизонтах	Возможно возделывание овса, капусты, турнепса, брюквы, кормовой свеклы, конских бобов, луговых трав	Возможны посевы бекмании, лисохвоста, канареечника, тимофеевки и других влаголюбивых трав	Осушение целесообразно при размещении яровых, зерновых, овощ-ных, кормовых культур и пастбищ. Без осушения естественные и культурные сенокосы с влаголюбивыми злаковыми травами
Дерновая зернистая глеевая	9	Сизо-бурая окраска глубже 30 см; с глубины 60 см интенсивная сизая окраска	$A1_{g'-g''}$	g'" с глубины 30 см; Gr глубже 60 см	Нет	Бурые крупные трубчатые конкреции в оглееенных горизонтах	Без осушения возможны посевы бекмании, лисохвоста	Без осушения возделывание всех культур невозможно	Осушение необходимо для всех культур
Торфянисто-глеевая	9	Интенсивное ог-леение непосредственно под слоем торфа	–	G_T глубже 10–30 см	Нет	Нет	Без осушения возделывание всех культур невозможно	Осушение необходимо при любом использовании	

* Приведена номенклатура почв преимущественно центральной и притеррасной областей пойм по классификации В.И. Шрага (1969).

лее благоприятных гидрологических условий в вегетационный период и более высокого урожая.

Во-вторых, на породах, приуроченных к флювиогляциальным, аллювиальным, моренным, покровным породам, среднемощным двучленам, формируются сильнозаболоченные (глеевые) почвы, водный режим которых исключает или резко угнетает рост и развитие сельскохозяйственных культур. Эта группа объединяет подзолисто-глеевые, торфянисто-подзолисто-глеевые и более гидроморфные почвы.

Вторая группа почв может быть вовлечена в сельскохозяйственное производство только после осушения. Применительно к этим почвам, так же как и к тяжелым, рекомендации о целесообразности осушения в годы, равные и меньшие 10%-ной обеспеченности осадков, являются, несомненно, исчерпывающими для оценки целесообразности применения осушения.

В-третьих, следует подчеркнуть особенности и такой группы, на которой одни и те же сельскохозяйственные культуры в годы разной влажности на почвах одной степени заболоченности неодинаково реагируют на погодные условия. Это относится преимущественно к глееватым почвам на легких породах. В мелиоративном аспекте здесь возможны два решения. Можно ориентироваться на создание наиболее благоприятных условий для самых чувствительных к избыточному увлажнению культур в составе севооборота. Однако при таком решении дренаж может вызвать снижение урожая ряда других относительно устойчивых культур севооборота и оказаться поэтому экономически нецелесообразным. Для этих почв может быть принято другое решение. Именно на почвах третьей группы оценки целесообразности применения дренажа на год расчетной обеспеченности следует дополнительно корректировать *эколого-экономическим расчетом* их эффективности. Сущность такой оценки заключается в определении сроков окупаемости капиталовложений на строительство дренажа тем урожаем, который может быть получен на почвах данной степени заболоченности. Методика эколого-экономической оценки целесообразности применения осушения сводится к следующим расчетам. Чтобы обосновать целесообразность осушения минеральных почв, необходимы в первую очередь данные об урожайности сельскохозяйственных культур на почвах разной степени заболоченности в годы разной влажности для каждой почвен-

но-климатической провинции, а также сведения о составе проектируемых севооборотов на осушаемых территориях и объеме капиталовложений в мелиоративное строительство на единицу площади [Зайдельман, 1991; 2002]. Исходя из того, что на многих заболоченных почвах после осушения урожай, как показали наши исследования (рис. 6.3), оказывается близким или равным урожаю на автоморфных недренированных почвах, была предложена следующая формула для расчета дополнительной стоимости (ДС) продук-

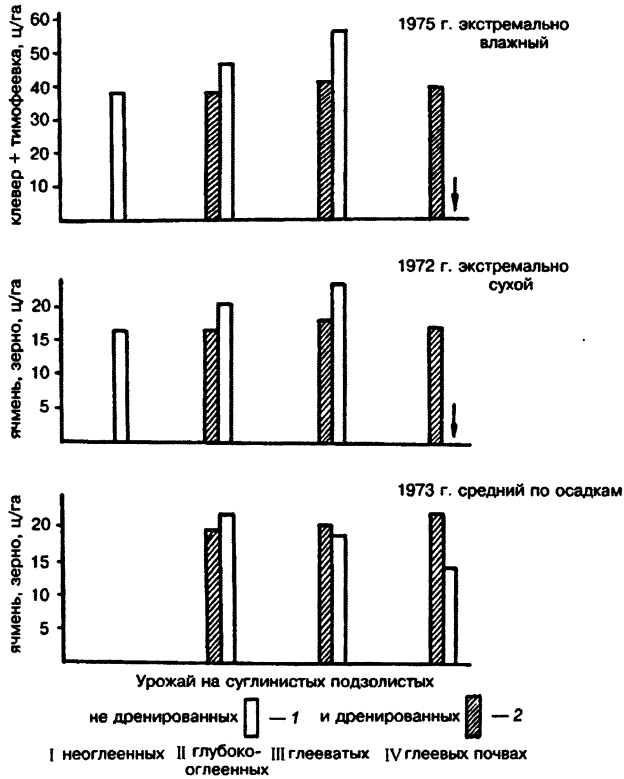


Рис. 6.3. **Урожайность некоторых сельскохозяйственных культур на недренированных (*1*) и дренированных (*2*) дерново-подзолистых почвах разной степени заболоченности: *а*) клевер + тимофеевка в экстремально влажный год; *б, в*) ячмень (зерно) соответственно в экстремально сухой и средний по осадкам годы. Почвы: *I* — дерново-подзолистые; *II* — то же, глубокооглеенные; *III* — то же, глееватые; *IV* — то же, глеевые. Стрелка — полная гибель урожая от вымывания**

ции, получаемой от осушения (или других видов мелиорации), руб. на 1 га.

Дополнительную стоимость (ДС) сельскохозяйственной продукции (руб. на га) рассчитывают по формуле:

$$ДС = НС - ЗС - ЭР + ГРС + МС, \quad (59)$$

где НС — стоимость продукции и культур севооборота (или поля) на незаболоченной автоморфной почве;

ЗС — стоимость продукции культур севооборота (или поля) на гидроморфной неосушаемой почве данной степени заболоченности (при естественном водном режиме);

ЭР — расходы на эксплуатацию осушительной системы;

ГРС — стоимость сэкономленных горюче-смазочных материалов и сокращения ремонтных работ в результате мелиорации;

МС — дополнительная стоимость продукции в результате ликвидации мелкоконтурности и оптимизации сельскохозяйственного производства.

После того как определена общая дополнительная стоимость продукции, получаемая в результате осушения, зная стоимость дренажа, можно рассчитать срок окупаемости (О, в годах) капиталовложений в его строительство:

$$О = \frac{10Р \cdot П}{ДС}, \quad (60)$$

где Р — затраты на строительство дренажа, руб. на 1 га;

П — число полей севооборота;

ДС — дополнительная стоимость (±) продукции, полученная в результате дренажа почв данной степени заболоченности со всех полей севооборота за 10-летний период в сухие, средние, влажные и сырые годы.

Следует обратить внимание на два введенных нами новых дополнения, которые позволяют более точно рассчитать действительный объем дополнительной стоимости, получаемой от осушения, и срок его окупаемости.

Во-первых, в результате осушения во влажные годы или в посевной и уборочный периоды на глееватых почвах существенно улучшаются условия проходимости техники и снижаются расходы на горюче-смазочные материалы.

Стоимость сэкономленного топлива, улучшение условий эксплуатации и сохранность сельскохозяйственной техники — прямое следствие осушения. Этот фактор до последнего времени не учитывался в должной мере при экономических расчетах. Однако его не только экономическое, но и социальное значение достаточно очевидно.

Во-вторых, формула основана на том, что после дренажа на осушенных почвах должен быть получен такой же урожай, что и на автоморфных недренированных почвах. Последнее подтверждают прямые наблюдения (рис. 6.3). Это позволяет произвести эколого-экономическую оценку эффективности осушения на стадии мелиоративных изысканий и проектирования до строительства, а также в регионах, где отсутствует опыт осушения гидроморфных почв. В этом преимущество такого расчета.

Наконец, следует подчеркнуть и еще один источник, влияющий на абсолютную величину дополнительной стоимости продукции при осушении глееватых почв. Осушение позволяет ликвидировать мелкоконтурность угодий и создать крупные поля. Поэтому если осушение сопровождается ликвидацией мелкоконтурности, то выигрыш от этого в результате оптимизации производственных процессов также должен получить соответствующую экономическую оценку и отражение в общей формуле расчета дополнительной стоимости.

Ниже приведен пример расчета окупаемости капиталовложений на строительство дренажа дерново-подзолистых глееватых и глеевых суглинистых почв Волоколамского эколого-мелиоративного почвенно-гидрологического стационара.

Расчет окупаемости выполняют с учетом дохода (+) или убытка (–) от возделывания всех культур севооборота за десятилетний цикл с учетом урожая в годы с погодными условиями, свойственными данной почвенно-климатической провинции. Например, для Среднерусской провинции дерново-подзолистых почв вероятность повторения сухих, средних, влажных и сырых лет составляет соответственно 10,70, 10, 10%, т.е. для того, чтобы оценить все варианты влияния погодных условий на урожай и его стоимость, необходимо учесть особенности одного сухого, семи средних, одного влажного и одного сырого годов (табл. 6.13). Далее суммируют доход (убыток) от каждой культуры севооборота за 10 лет по годам разной обеспеченности осадками и по формуле рассчитывают срок окупаемости дренажа.

Таблица 6.13

Окупаемость гончарного дренажа при осушении дерново-подзолистых суглинистых почв разной степени заболоченности (пример расчета, цены 1990 г.)

Культура	Доход (+), убыток (–) от осушения 1 га (руб.) в годы				Доход (+), убыток (–) за 10 лет, руб.	Окупаемость дренажа стоимостью 800 и 500 руб./га*
	сухие годы, 1 год	средние, 7 лет	влажные, 1 год	сырые, 1 год		
Глееватые почвы, восьмипольный оборот						
Пар занятой (однолетние силосные овес + горох)	–118	–427	–100	–86	–731	
Озимая пшеница	221	1010	115	339	1675	
Ячмень с подсевом трав	–36	63	–79	96	44	$\frac{800 \cdot 8}{1606} \cdot 10 = 40$ лет
Травы 1-го года пользования	–55	–350	–83	–75	–563	
Травы 2-го года пользования	–55	–350	–83	–75	–563	$\frac{500 \cdot 8}{1606} \cdot 10 = 25$ лет
Лен (семя + соломка)	–304	938	15	253	902	
Картофель	–90	854	–255	438	947	
Овес	–73	–49	–7	24	–105	
Итого:					1606	
Глееватые почвы, четырехпольный оборот						
Пар занятой (однолетние силосные овес + горох)	–118	–427	–100	–86	–731	$\frac{800 \cdot 4}{2793} \cdot 10 = 12$ лет
Озимая пшеница	211	1010	115	339	1675	
Картофель	–90	854	–255	438	947	$\frac{500 \cdot 4}{2793} \cdot 10 = 7$ лет
Лен (семя + соломка)	–304	938	15	253	902	
Итого:					2793	
Глеевые почвы, восьмипольный оборот						
Пар занятой (однолетние силосные овес + горох)	287	2065	140	413	2405	
Озимая пшеница	267	3507	463	610	4847	
Ячмень с подсевом многолетних трав	61	616	113	135	925	$\frac{800 \cdot 8}{33970} \cdot 10 = 2$ года $= 1$ год
Травы 1-го года пользования	113	1591	113	163	1980	
Травы 2-го года пользования	113	1591	113	163	1980	

Продолжение таблицы 6.13

Культура	Доход (+), убыток (–) от осушения 1 га (руб.) в годы				Доход (+), убыток (–) за 10 лет, руб.	Окупаемость дренажа стоимостью 800 и 500 руб./га*
	сухие годы, 1 год	средние, 7 лет	влажные, 1 год	сырые, 1 год		
Лен (семя + соломка)	145	4592	667	667	6071	
Картофель	529	11250	1412	991	14182	
Овес	94	735	162	89	1080	
Итого:					33970	

В качестве примера такого расчета на рис. 6.4 показаны сроки окупаемости керамического дренажа, рассчитанные по изложенной методике, на осушаемых глубокооглеенных, глееватых и глеевых почвах. Поскольку урожай всех культур на глубокооглеенных почвах независимо от влажности выше, чем на автоморфных, их дренаж в

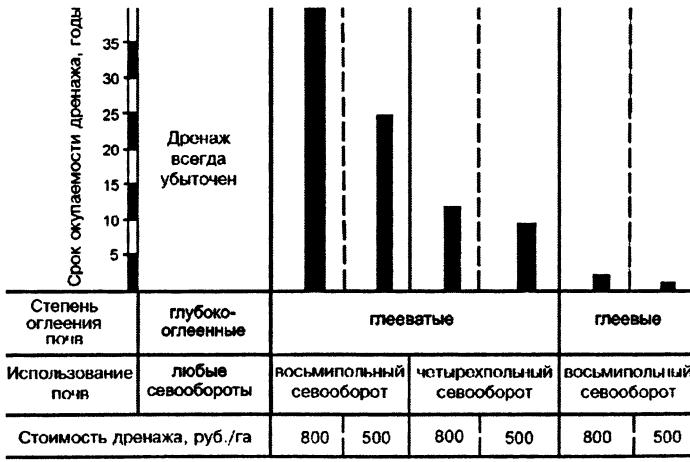


Рис. 6.4. **Окупаемость керамического дренажа на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах разной степени заболоченности*. Среднерусская провинция, дерново-подзолистые почвы. *Восьмипольный севооборот*: 1 — однолетние травы, 2 — озимая пшеница, 3 — овес, 4 — ячмень, 5, 6 — многолетние травы, 7 — лен, 8 — картофель; *четырехпольный севооборот*: 1 — однолетние травы, 2 — озимая пшеница, 3 — картофель, 4 — лен * Все стоимости в ценах 1989 г.**

экономическом отношении всегда убыточен, а в экологическом — нецелесообразен или опасен. На глеевых почвах, водный режим которых исключает возможность возделывания всех культур (в том числе и многолетних трав), осушение всегда эффективно и окупается через 1–2 года, т.е. практически первым урожаем. Сложнее решается вопрос о сроках окупаемости дренажа на глееватых легкосуглинистых почвах. Из таблицы следует, что их дренаж убыточен, если поле занято многолетними травами, или малоэффективен в случае, если поле занято яровыми зерновыми, в частности ячменем. Доход от возделывания ячменя за 10 лет составил всего 44 руб. Однако озимая пшеница и картофель весьма отзывчивы на осушение в средние, влажные и сырые годы. Поэтому окупаемость дренажа при использовании таких глееватых легкосуглинистых почв для размещения районированных 8-польных севооборотов (рис. 6.4) оказалась весьма продолжительной — 25 и 40 лет (в зависимости от стоимости дренажа). Следовательно, осушение дерново-подзолистых глееватых легкосуглинистых почв для размещения такого 8-польного севооборота экономически невыгодно.

Однако если на этих почвах севооборот окажется иным, насыщенным другими культурами, чувствительными к избыточному увлажнению (например, озимыми зерновыми, картофелем), то в этом случае, как следует из табл. 6.13 и рис. 6.4, окупаемость инвестиций на строительство закрытого гончарного дренажа сократится до 7–12 лет. Такое резкое сокращение сроков окупаемости возможно, например, на фоне 4-польного севооборота (1 — однолетние травы, 2 — озимая пшеница, 3 — картофель, 4 — лен) при современном сравнительно невысоком уровне урожайности ячменя (1,8–2,5 т/га), озимой пшеницы (2,5–3,5 т/га) и картофеля (20,0–25,0 т/га). Даже при таком уровне урожайности уменьшение срока окупаемости до 7 лет (без учета влияния осушения на уменьшение расходов горючего, сокращение ремонта техники, последствий от ликвидации мелкоконтурности) позволяет признать целесообразным строительство дренажных систем. Поэтому чем выше уровень сельскохозяйственного производства и урожай, тем более рентабельными являются мероприятия по мелиорации почв; напротив, низкий уровень продуктивности растений делает малоэффективной любую совершенную инженерную осушительную систему.

В заключении следует подчеркнуть еще одну актуальную особенность рассмотренной в этом разделе методики эколого-экономического расчета целесообразноси осушения почв разной степени заболоченности. Эта методика является универсальной для большинства объектов мелиорации, почвы которых отличаются наличием любых негативных свойств, например, засоленностью, солонцеватостью, осолодением, слитизацией, каменистостью и другими признаками с разной степенью их проявления. Во всех перечисленных случаях на основе этого метода может быть установлена эколого-экономическая целесообразность применения тех или иных мелиоративных мероприятий по оптимизации свойств и режимов почв. В этом заключается универсальность предложенного метода, который может получить широкое применение не только в бореальной, но и в степной, полупустынной и пустынной зонах при решении вопросов о целесообразности применения мелиораций и о сроках окупаемости инвестиций на мелиоративное строительство на почвах с разной степенью проявления негативных свойств.

6.5. Диагностика целесообразности осушения почв на объектах реконструкции по методам А.Ю. Перцовича и О.Л. Веденина

Одним из наиболее сложных вопросов полевого изучения почв в мелиоративных целях в настоящее время является диагностика целесообразности их осушения на объектах реконструкции. Поэтому попытаемся систематизировать известные данные о том, как установить на ранее мелиорированном массиве контуры почв с недостаточным дренажем, применительно к которым целесообразно использовать осушение. Вопрос этот, несомненно, в дальнейшем будет приобретать все большую актуальность в связи с быстрым ростом абсолютной площади осушаемых почв и постепенным относительным увеличением территорий, на которых продолжительность действия дренажных систем будет превышать установленные сроки эксплуатации.

При решении этого вопроса в общем виде, так же как и при изучении почв с естественным режимом, целесообразно использовать принцип эколого-гидрологического анализа почвенного покрова об-

ъекта мелиорации. Его сущность заключается в одновременном изучении трех важнейших факторов, определяющих особенности почв как объекта мелиорации, и сельскохозяйственного использования: 1) водного режима; 2) продуктивности культур; 3) морфологии, признаков, диагностирующих степень их заболоченности. (Подробнее об эколого-гидрологическом подходе к оценке почв как объекта мелиорации см. на с. 191)

Ранее на основе этих принципов автором была предложена классификация минеральных почв европейской территории Нечерноземной зоны, отражающая возможность их использования в естественном состоянии и целесообразность осушения при размещении различных сельскохозяйственных культур. Поэтому если на территории с измененным водным режимом, тем не менее, через 10 лет после начала эксплуатации дренажа сохраняются почвы, морфологические особенности которых соответствуют признакам почв той или иной степени заболоченности в естественном состоянии, то о целесообразности их осушения судят в соответствии с рекомендациями по осушению почв с естественным водным режимом. Причем следует использовать исходные почвенно-мелиоративные карты, составленные ранее для обоснования первичного проекта мелиорации. Это позволяет получить дополнительное объективное подтверждение того, что на исследуемом участке в результате мелиорации не произошло принципиального изменения морфологии и гидрологического режима почв. Такие условия характерны, во-первых, для массивов с сильнозаболоченными почвами с неверно запроектированными мелиоративными мероприятиями.

Во-вторых, это возможно, если система (секция), приуроченная к любым по степени заболоченности почвам, оказалась неверно построенной и в процессе эксплуатации быстро вышла из строя, например, из-за суффозии почво-грунтовой толщи в дренажной траншее, закупорки дренажа, катастрофической эрозии каналов и их заполнения твердым стоком и иных причин. Об их избыточном увлажнении и целесообразности оптимизации осушения можно судить, прежде всего, по вторичному гидрологическому режиму, свойствам почв как среды обитания и по продуктивности сельскохозяйственных культур.

Очевидно, однако, что возможность постановки длительных гидрологических исследований для обоснования проектов реконструкции остается весьма ограниченной. Получение таких данных связано

не только с многолетними исследованиями водного режима множества почв, но и с постановкой многофакторных опытов, отражающих эффективность осушения при использовании систем с разными параметрами дренажа (глубин заложения дрен, междренных расстояний) и с применением разных агромелиоративных мероприятий. Поэтому при решении вопроса о необходимости осушения почв на объектах реконструкции в практических целях используют следующие почвенно-мелиоративные, геоботанические и фитоценологические характеристики, разработанные А.Ю. Перцовичем и О.Л. Ведениным (1986).

1. Цвет поверхности и рельеф. Контуры недостаточного осушения и возможного вымокания растений, в пределах которых целесообразна интенсификация дренажа, обычно приурочены к отрицательным формам поверхности (плоским тальвегам, замкнутым водотокам, предканальным повышениям недостаточно выровненных кавальеров и др.). Как правило, весной или осенью после обработки контуры таких переувлажненных участков отличаются темно-серой окраской (на фоне более светлого тона менее заболоченных почв).

2. Геоботанические и агрофитоценологические признаки переувлажненных почв проявляются в следующем. Переувлажненные участки на пашнях отличаются интенсивным развитием влаголюбивой сорной растительности. На таких почвах, приуроченных к покровным и моренным суглинкам и глинам и другим породам, широкое распространение получают лисохвост коленчатый, гречишник влагалищный, мокричник. К сырым пашням на тяжелых лимногляциальных породах приурочены камыш и другие влаголюбивые доминанты.

Особое значение для оценки необходимости интенсификации осушения на объектах реконструкции играет картирование биопродуктивности агроценозов. Ареалы вымочек и угнетенных сельскохозяйственных растений позволяют наиболее четко определить те площади, которые в максимальной степени страдают от переувлажнения. Наиболее достоверный индикатор на избыточное увлажнение осушенных почв из зерновых культур — озимая пшеница; из яровых зерновых — яровая пшеница. Хорошим индикатором на переувлажнение почв из пропашных культур оказались кукуруза (на силос) и картофель. Среди сеяных трав наиболее чувствительны к переувлажнению клевер розовый и красный. Их выпадение на 2–3-й год жизни при возделывании бобово-злаковых травосмесей (напри-

мер, клевер розовый + тимофеевка) свидетельствует о неблагоприятном влиянии избыточного увлажнения на посевы.

3. Площадь распространения вымочек позволяет судить о мелиоративном состоянии осушенных земель и эффективности действия системы. По предложению ряда авторов [Перцович, Веденин, 1986] в этом случае рекомендованы следующие градации (табл. 6.14) оценки состояния осушенных территорий.

Таблица 6.14

Оценка состояния осушенных территорий по площади вымочек в годы разной влажности, %[1] (Перцович, Веденин, 1986)

Водность вегетационного периода	Состояние осушенных территорий			
	хорошее	удовлетворительное	неудовлетворительное	крайне неудовлетворительное
Маловодный	0 / 0	0 / < 5	1–5 / 5–10	> 5 / > 10
Средний	0 / < 5	0–1 / 5–10	2–10 / 11–20	> 10 / > 20
Многоводный	0–1 / < 10	2–5 / 10–20	6–20 / 21–50	> 20 / > 50

4. Косвенные признаки неудовлетворительного состояния водного режима почв играют важную роль при оценке целесообразности реконструкции дренажа. К ним относятся следы неубранного урожая, не подготовленные участки поля для обработки и сева с прошлого года, а также наличие глубоких колей колесной сельскохозяйственной техники. В последнем случае по колее формируются два внешних выпуклых валика, указывающих на интенсивное переувлажнение почв в период уборки.

5. Элементы гидрологической и гидрофизической характеристики переувлажненных территорий достаточно разнообразны и их следует использовать в зависимости от свойств почвенного покрова и причин заболачивания. Наиболее важные из них следующие.

5.1. Сроки обработки. Важный критерий переувлажнения почв — срок запаздывания полевых работ на исследуемом контуре по сравнению с их началом в ареале автоморфных почв. При этом, если за-

[1] В числителе — относительная площадь вымочек с полной гибелью, в знаменателе — с угнетенным состоянием сельскохозяйственных растений от переувлажнения почв.

паздывание не превышает 5 суток, состояние осушенных земель оценивают как хорошее; при сроках 5–10, 11–20 и более 20 суток — соответственно как удовлетворительное, неудовлетворительное и крайне неудовлетворительное. По данным П. Меннинга (1984), запаздывание на 10 суток и более в Германии рассматривают как указание на необходимость дополнительного осушения.

5.2. Возможность возникновения верховодки в профиле осушенных почв. Ареалы распространения условий, при которых она реальна, определяются близким залеганием водоупора с $K_ф \leq 0{,}05$ м/сут. и уклонами поверхности < 0,002. Такие условия встречаются главным образом на маломощном двучлене с близким залеганием водоупора и на тяжелых по всему профилю суглинистых и глинистых почвах. По этому признаку состояние осушенных почв в мае – сентябре определяется рядом критериев (табл. 6.15).

Таблица 6.15

Оценка состояния осушенных почв по продолжительности стояния верховодки на поверхности и в пахотном горизонте, сут. [Перцович, Веденин, 1986][1]

Сельскохозяйственное использование	Состояние осушенных почв			
	хорошее	удовлетворительное	неудовлетворительное	крайне неудовлетворительное
Овощной и овоще-кормовой севообороты	$\frac{<0{,}5}{<1}$	$\frac{0{,}5-1{,}0}{1-2}$	$\frac{2-3}{3-5}$	$\frac{>3}{>5}$
Полевой и кормовой севообороты, пастбища	$\frac{<1}{<2}$	$\frac{1-2}{2-3}$	$\frac{3-5}{4-7}$	$\frac{>5}{>7}$
Сенокосы	$\frac{<1}{<3}$	$\frac{1-2}{3-5}$	$\frac{3-5}{6-10}$	$\frac{>5}{>10}$

5.3. Диагностика особенностей гидрологии осушенных почв по признакам гидроморфизма. Выше было показано, что осушение оказывает существенное влияние на морфологию дренируемых почв. Однако вторичное морфологическое строение их профиля, окраска горизонтов, новообразования, несомненно, остаются важным критерием диагностики почв в мелиоративных целях. Это положение справедливо в первую очередь для минеральных почв грунтового заболачивания. Здесь наиболее отчетливо проявляется взаимосвязь между морфологическими признаками гидроморфизма осушенных

[1] В числителе — срок отвода воды с поверхности, в знаменателе — из пахотного горизонта.

почв и вторичным гидрологическим режимом. Так, современная зона почвенного профиля, стабильно находящаяся ниже уровня грунтовых вод, сохраняет типичную окраску горизонта *Gr* или *Go* (глей редуцированный или глей окисленный).

В зоне распространения ожелезненных грунтовых вод их понижение приводит к появлению второго ортзандового горизонта, маркирующего вторичное преимущественное положение зеркала грунтовых вод. Аналогичное явление может наблюдаться в зоне распространения жестких карбонатных вод. После осушения в этом случае формируется второй карбонатный, часто вскипающий горизонт, соответствующий современному новому положению зеркала грунтовых вод.

Следует, однако, подчеркнуть, что эти признаки, отражая новые гидрологические условия, сами по себе еще не достаточны для суждения о свойствах почв как объекта мелиорации. Такие наблюдения необходимо дополнять сведениями об урожайности сельскохозяйственных культур в годы разной влажности на ранее осушенных почвах. При таком подходе окажется возможным раскрыть их особенности как среды обитания растений и принять обоснованное решение о целесообразности реконструкции осушительной системы.

При проведении почвенно-мелиоративных работ на объектах реконструкции особенно важна целесообразная организация полевых изысканий. Ее следует выполнять в два этапа. На *первом* этапе весной предусматривается рекогносцировочное обследование объекта, в ходе которого на топооснову наносят контуры почв, испытывающих избыточное увлажнение в результате застоя поверхностных и высокого стояния грунтовых вод. На *втором* этапе (в этом случае независимо от оптимальных сроков) выполняют съемочные почвенно-мелиоративные работы на всей площади объекта реконструкции.

6.6. Исследования естественных и агрогенных факторов экологической пестроты мелиорируемых почв по методу Ф.Р. Зайдельмана

Пестрота почвенного покрова, свойственная заболоченным территориям в естественном состоянии каждой природной зоны, определяется разнообразием почвообразующих пород, рельефа, пе-

перераспределением стока поверхностных и грунтовых вод, другими причинами.

После мелиорации на гидрологический режим осушаемых почв накладываются новые факторы, играющие существенную роль в формировании урожая. Одновременно проявляется действие других причин трансформации почвенного покрова, связанных с особенностями строительства мелиоративных систем.

Поскольку такая пестрота оказывает непосредственное влияние на урожай, анализ факторов, определяющих закономерности ее формирования, приобретает актуальное прикладное значение. Исходя из самых общих представлений, казалось бы, можно согласиться с тем, что под влиянием дренажа и комплекса интенсивных мероприятий по окультуриванию (глубокой пахоты, известкования, внесения удобрений и др.) происходит выравнивание свойств, режима и продуктивности мелиорированных почв. Реальная ситуация, однако, оказывается существенно иной. Необходимо прежде всего подчеркнуть, что почти повсеместно почвенный покров осушенных массивов, образованных суглинистыми и глинистыми почвами, отличается выраженной пестротой. При этом факторы пестроты почвенного покрова после дренажа могут иметь первичный (естественный или исходный) и вторичный (антропогенный) характер. Их влияние после осушения может проявляться на протяжении короткого периода или исчезать вообще, сохраняться неопределенно долго, проявляться более интенсивно, чем в естественном состоянии, или, наконец, формироваться вновь.

Таким образом, мелиорация полностью не устраняет естественную структуру почвенного покрова, она лишь сглаживает различия гидротермического режима и в ряде случаев свойства почв. Вместе с тем она вызывает появление новых, ранее отсутствующих факторов пестроты (рис. 6.5).

Первичная (естественная) пестрота почвенного покрова обусловлена влиянием гидрологических, педогенных и литологических факторов.

Пестрота почв осушенного массива, обусловленная исходными *гидрологическими* различиями, определяется тем, что обычно объектом мелиорации в гумидных ландшафтах являются минеральные почвы разной степени заболоченности. Дренаж легко устраняет исходные различия водного режима почв с высокой водопроницаемостью корнеобитаемых горизонтов (например, песчаных, супесчаных,

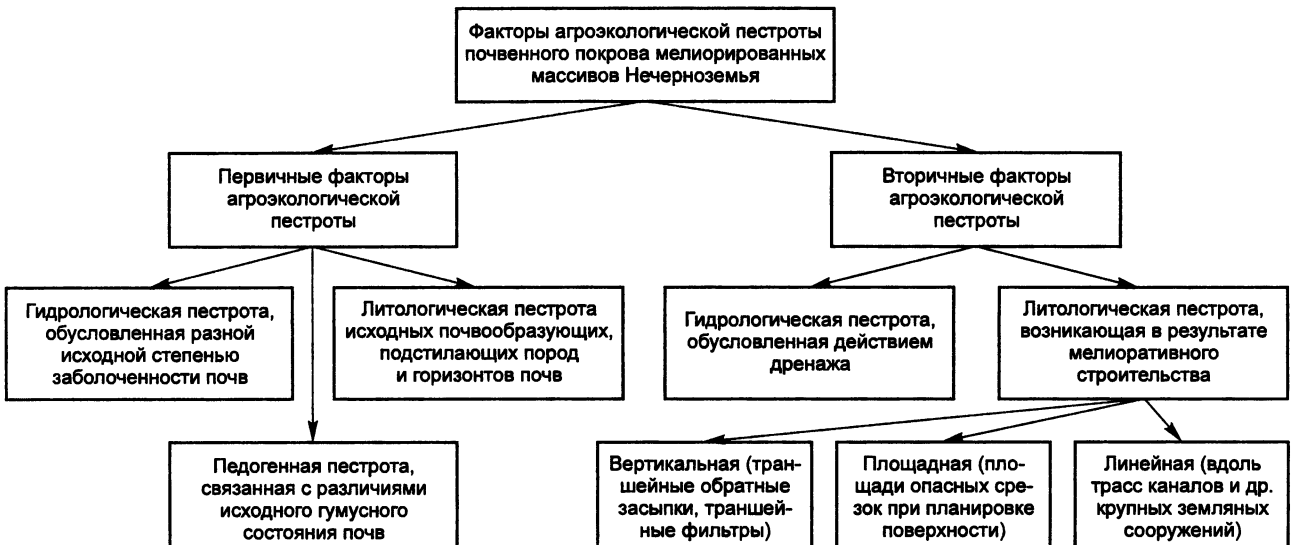


Рис. 6.5. **Причины пестроты агроэкологических условий осушенного массива**

структурных суглинистых и глинистых почв, почв на среднемощных и мощных двучленах).

Однако на суглинистых и глинистых подзолистых, болотно-подзолистых и иных почвах с уплотненными подпахотными горизонтами (особенно когда их $K_ф < 0{,}06$ м/сут.) последействие исходного гидрологического фактора проявляется более отчетливо. Только интенсивная система мероприятий по капитальной и эксплуатационной планировкам поверхности, организации и ускорению поверхностного и внутрипочвенного стоков могут обеспечить выравнивание водного режима тяжелых почв, отличающихся в исходном состоянии разной степенью заболоченности.

Первичные гидрологические различия, поэтому, нельзя рассматривать как постоянно действующий исходный фактор пестроты почвенного покрова мелиорируемого массива. Интенсификация дренажа и других гидротехнических мероприятий (например, устройство ложбин для раскрытия западин, создание поглощающих колодцев-шлюкеров), применение агромелиоративных мероприятий по организации и ускорению поверхностного и внутрипочвенного стоков, специальных агротехнических приемов позволяют в значительной мере или полностью устранить гидрологические причины исходной пестроты почвенного покрова.

Действие второго — *педогенного* — фактора исходной пестроты почвенного покрова также обусловлено первичной неоднородностью, его можно проследить на протяжении длительного отрезка времени или постоянно. Сущность его проявления заключается в том, что почвы разной степени заболоченности обычно характеризуются и разным гумусовым состоянием, разным запасом органического вещества (например, в мало- и среднегумусных, перегнойных и торфяных почвах). На хорошо проницаемых легких почвах разной степени заболоченности (в исходном состоянии) с помощью дренажа в корнеобитаемой зоне можно достаточно быстро создать относительно однородный режим грунтовых вод. Однако слабо- и сильнозаболоченные почвы на легких породах неопределенно долго сохраняют свои отличия по запасу органического вещества и обусловленные этим различия как гидротермических условий, так и плодородия.

Третий фактор исходной агроэкологической пестроты — неоднородность почв и почвообразующих пород по исходному *грануломет-*

рическому составу. Он, как правило, не поддается выравниванию и постоянно влияет на продуктивность почв дренированных территорий. Существующий опыт гомогенизации осушенных почв по гранулометрическому составу остается весьма ограниченным и не выходит до настоящего времени за рамки экспериментов. Вместе с тем он заслуживает серьезного изучения [Сталбов, 1984].

Таким образом, мелиорируемое поле испытывает действие трех факторов исходной (естественной) пестроты почвенного покрова даже в том случае, если весь комплекс гидротехнических и агрономических мероприятий выполняется в оптимальном объеме. При этом фактор гидрологической пестроты достаточно просто устраняется при дренаже легких почв и значительно медленнее — при мелиорации тяжелых. Фактор педогенной пестроты, обусловленной преимущественно различиями гумусного состояния, как правило, устранить сложно или практически невозможно на протяжении длительного периода эксплуатации. Фактор литологической пестроты в почвах одного или близкого генезиса при современных способах обработки устранить нельзя.

Наряду с первичными следует обратить особое внимание на вторичные факторы. Их появление обусловлено только антропогенными причинами. Наиболее существенными вторичными факторами пестроты являются гидрологический и литологический.

Возникновение *вторичного гидрологического фактора* обусловлено действием дренажа. Механизм его появления связан с тем, что между дренами и в непосредственной близости от них формируются различные гидрологические условия. У дрен уровень почвенно-грунтовых вод находится обычно на глубине их заложения или несколько выше. В середине между дренами он поднимается к дневной поверхности. Такая картина наблюдается обычно в средних по водопроницаемости почвах. В слабопроницаемых тяжелых почвах происходит резкий спад депрессионной кривой непосредственно у дрен, а в почвах с высокой водопроницаемостью и низким сопротивлением потоку (например, в песчаных и супесчаных) близка к линии, параллельной дневной поверхности (рис. 6.6). Таким образом, в слабо- и среднепроницаемых почвах непосредственно у дрен и в середине междренья формируются и практически постоянно существуют зоны с различающимися водным, воздушным, окислительно-восстановительным режимами, нитрификационными и другими особенностями.

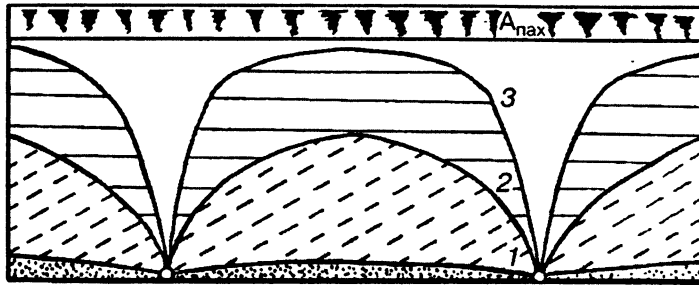


Рис. 6.6. **Формы депрессионных кривых в супесчано-песчаных (*1*), легко- и среднесуглинистых (*2*), тяжелосуглинистых и глинистых (3) почвах**

Из этого следует, что наиболее резко гидрологические различия у дрен и в середине междренья влияют на урожайность культур (и свойства почв) в слабо- и среднепроницаемых почвах, тогда как в почвах с высокой водопроницаемостью они могут быть весьма ослабленными или не проявляться вообще.

Для оценки влияния вторичного гидрологического фактора пестроты осушенных почв на урожайность районированных культур в 1971–1974 гг. были предприняты следующие наблюдения.

На осушенных дерново-подзолистых суглинистых почвах разной степени заболоченности на покровных лессовидных суглинках в Шаховском районе Московской области в годы разной влажности была произведена дифференцированная оценка урожайности районированных культур в створе, нормальном к дренажным линиям. Заболоченные почвы были осушены на исследуемом массиве систематическим керамическим дренажем; междренные расстояния $E = 20$ м, глубина дрен — 0,8–1,2 м. Площадки учета урожайности закладывались непрерывной лентой от дрен до середины междренья через каждый метр. Первая пробная площадка 1×1 м^2 находилась непосредственно над дреной. Таким образом с нее отбирался урожай, полученный преимущественно на траншейной обратной засыпке. Последняя площадь опробования (десятая) размещалась в середине междренного пространства.

Исследования были выполнены в 1971 и 1973 гг. — средних по влажности, 1972 г. — экстремально сухом и в 1974 г. — очень влажном годах. Установлено, что абсолютные значения урожая, обусловленные вторичной гидрологической пестротой дренированного поля, тесно связаны с биологическими особенностями сельскохозяйствен-

ных культур и влажностью года. Озимые и яровые зерновые культуры всегда независимо от влажности года характеризуются тем, что продуцируют максимальный урожай в непосредственной близости от дренажных линий (табл. 6.16).

Таблица 6.16

Урожайность сельскохозяйственных культур на осушаемых оглеенных дерново-подзолистых почвах на разном удалении от дрен в годы разной влажности. Шаховской район. Московская обл.

Вариант – расстояние от дрены, м	Глееватая								Глеевая							
	1971		1972		1973		1974		1971		1972		1973		1974	
	озимая пшеница		ячмень		ячмень		клевер + тимофеевка (сено)		озимая пшеница		ячмень		ячмень		клевер + тимофеевка (сено)	
	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%
1 (над дреной)	2,95	165	2,10	114	2,35	114	5,30	90	2,20		1,60	114,3	2,71	160,0	4,40	102,3
2	2,20	156	2,00	111	2,30	106	5,60	95	2,00		1,50	107,1	2,68	157,9	4,70	109,3
3	2,00	142	2,00	111	2,20	102	5,70	97	0,50		1,50	107,1	2,70	158,8	4,80	111,8
4	2,00	142	1,95	108	2,14	100	5,40	92	0,10		1,55	110,7	2,49	146,7	4,80	111,8
5	2,11	149	1,90	105	2,10	98	5,30	90	0,10		1,45	103,5	2,40	141,2	4,30	100,0
6	1,83	129	1,90	105	2,06	100	5,50	93	–*		1,40	100	2,30	135,3	4,30	100,0
7	1,60	113	1,95	108	2,04	95	5,50	93	–		1,35	96,5	2,25	132,3	4,30	100,0
8	1,50	106	1,90	105	2,10	98	5,60	95	–		1,30	92,8	2,00	117,6	4,30	100,0
9	1,50	106	1,85	103	2,11	98	5,70	97	–		1,35	96,5	1,80	105,9	4,30	100,0
10	1,42	100	1,80	100	2,07	100	5,90	100	–		1,40	100,0	1,70	100,0	4,30	100,0
(середина междренья). Средняя урожайность, т/га	1,75	–	1,94	–	2,14	–	5,45	–	0,49		1,43	–	2,54	–	4,45	–

* Гибель растений из-за вымокания.

Наиболее отчетливо проявляются отличия в урожайности озимых зерновых, поскольку они испытывают отрицательное влияние неблагоприятного увлажнения на протяжении всего теплого периода и наиболее четко реагируют на избыточное увлажнение. Так, в средние по количеству осадков годы урожайность озимой пшеницы непосредственно у дрены была выше на 65% по сравнению с урожайностью посредине между дренами (абсолютная урожайность посредине между дренами и у дрены соответственно 1,42 и 2,35 т/га). Это существенное абсолютное различие отчетливо, но несколько слабее проявляется и в продуктивности яровых культур на глееватых и, особенно, на глеевых почвах. В последнем случае в зоне активного влияния дрен урожайность ячменя оказалась выше, чем урожайность посредине между дренами, на 32–60%. Эти различия наиболее резко для зерновых культур проявляются в средние и влажные годы и менее отчетливы в сухие для зерновых яровых культур на дренированных глееватых и глеевых почвах. В последнем случае различия в урожайности у дрены и в середине междренья не превышали 14%.

Существенно иначе влияет фактор вторичной гидрологической пестроты на урожай травосмеси клевера и тимофеевки. Обладая значительно большим водопотреблением, чем злаковые зерновые, травы на глееватых почвах в непосредственной близости от дрен даже во влажные годы в известной мере снижают урожай по сравнению с междреньем (на 5–10%). Лишь на дерново-подзолистых глеевых почвах, отличающихся более высокой степенью увлажнения, у дрен наблюдается незначительное увеличение урожая трав.

Полученные данные показывают, что растения на этих почвах, несмотря на дренаж, испытывают отчетливое влияние первичной гидрологической пестроты. Последнее проявляется в том, что, как правило, с усилением исходной степени заболоченности наблюдается снижение среднего урожая всех исследованных культур. Так, средняя урожайность ячменя в сухой и средний год на глееватых почвах составила 1,94 и 2,14 т/га, трав — 5,45 т/га; на глеевых — соответственно 1,43, 2,54 и 4,45 т/га. Исходная неоднородность наиболее отчетливо проявляется при анализе урожая озимых культур. Из таблицы следует, что средняя урожайность озимой пшеницы составила 1,75 т/га (максимум 2,35, минимум 1,42 т/га). На глеевых почвах при осушении гончарным дренажем через 20 м средняя урожайность была 0,49 т/га. Вместе с тем максимальная урожайность — 2,20 т/га

— была получена на этих же почвах в непосредственной близости от дрены. Поэтому анализ структуры почвенного покрова и урожайности позволяет, в частности, оценить правильность принятых при проектировании основных параметров дренажа и целесообразность подбора культур в составе севооборота.

В заключение следует подчеркнуть, что влияние вторичного гидрологического фактора на урожай в тяжелых почвах может быть существенно ослаблено или практически исключено с помощью агромелиоративных мероприятий, направленных на улучшение их физических свойств и повышение $K_ф$. Такие наблюдения были выполнены автором совместно с В.А. Плавинским и А.В. Белым (1986) в Вологодской области на дренированных оглеенных дерново-подзолистых почвах, приуроченных к лессовидным глинам. Почвы осушены закрытым гончарным дренажем через 10, 20 и 40 м. На опытном варианте выполнено глубокое мелиоративное рыхление рыхлителем ВРН.80.3 на глубину 80 см. В средние по влажности годы на таких почвах у дрен на контроле (без рыхления) с $E = 10$ м была достигнута максимальная урожайность ячменя (1,97 т/га), при $E = 40$ м она не превышала 1,5 т/га.

Глубокое рыхление в определенных условиях выравнивает вторичные гидрологические различия и создает условия для формирования практически одинакового урожая независимо от междренного расстояния в интервалах 10–40 м (табл. 6.17).

Таблица 6.17

Изменения урожайности ячменя на осушаемых оглеенных дерново-подзолистых глинистых почвах в результате глубокого мелиоративного рыхления. Вологодская область

Контроль (n = 4–6) без рыхления		Активное глубокое рыхление (n = 4–6)	
расстояние между дренами (E), м	урожайность, т/га	расстояние между дренами (E), м	урожайность, т/га
10	1,97 ± 0,21	10	2,33 ± 0,10
20	1,82 ± 0,27	20	2,25 ± 0,52
40	1,50 ± 0,10	40	2,22 ± 0,30

Изложенное позволяет сделать следующие выводы. Во-первых, оценку параметров дренажа (прежде всего междренных расстояний) при проектировании осушения на почвах разной степени заболоченности надо устанавливать не только исходя из значений коэффициента фильтрации, водоотдачи, гранулометрического состава и других

свойств, но и корректировать их с учетом первичных и вторичных факторов гидрологической пестроты.

Во-вторых, фактор вторичной гидрологической пестроты на осушенных почвах часто определяет высокую степень неоднородности урожайности в точках опробования, находящихся на разном расстоянии от дренажных линий. Это в первую очередь справедливо для почв суглинистого и глинистого состава с поверхностным заболачиванием. Поэтому правильное представление о реальном урожае на осушенном поле может быть получено либо при его валовом учете со всей площади массива, приуроченной к одной почвенной разновидности, либо путем оценки урожая на учетных полосах, занимающих целое междренье или его половину, заложенных нормально к оси дренажных линий. Учет урожайности на основе массовых данных, полученных на малых площадках, не охватывающих все элементы депрессионной кривой, может привести к получению неточных или существенно искаженных данных.

В-третьих, при организации полевых мелкоделяночных опытов на осушенных почвах учетные площадки целесообразно располагать нормально к дренажным линиям, а их длина должна быть кратной длине междренных расстояний или ее половине.

Пестрота агроэкологических условий на осушаемом поле может иметь вторичное *литологическое происхождение* и в силу этого оказывать длительное или постоянное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур даже при относительно выровненном водном режиме почв. Влияние этого фактора проявляется обычно в трех следующих часто встречающихся формах, связанных с гидротехническим строительством.

1. При строительстве осушительных систем и особенно ее проводящих элементов (открытых магистральных каналов, коллекторов, а также колодцев различного назначения и др.) на поверхность почвы поступают огромные массы подпахотных горизонтов почвенного профиля, почвообразующих и подстилающих пород, как правило, интенсивно оглеенных и часто малоплодородных. Эти земляные резервы трудно поддаются тонкослойному разравниванию. Их мощность после планировки нередко достигает 10–30 см и более (рис. 6.7). Такие линейные вторичные повышения тянутся вдоль всей трассы канала, перерезая и перегораживая естественные, часто слабо выраженные поверхностные водотоки. В результате в

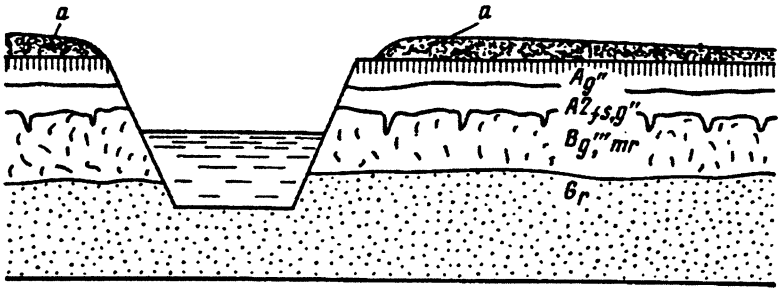


Рис. 6.7. **Накопление земляных резервов вдоль осушительных каналов после разравнивания кавальеров (слой *а*). Пример линейной неоднородности. *Горизонты почвенного профиля:* $A_{g''}$ — гумусовый, $A2_{fs,g}$ — подзолистый сегрегированный, $B_{g,mr}$ — иллювиальный мраморовидный, G_r — глей редуцированный**

непосредственной близости у канала накапливается вода, формируются лужи, вызывающие интенсивное вторичное заболачивание почв и вымокание урожая.

Особенно часто и в максимальных размерах это явление наблюдается при осушении почв на тяжелых ленточных глинах на западе и северо-западе Нечерноземной зоны. Тонкослоистая текстура, высокая набухаемость этих пород — причина низкой устойчивости откосов каналов. При их строительстве, учитывая высокие коэффициенты откосов (2,5–3,5), выполняют значительные объемы земляных работ. В результате оказывается необходимым разравнивать с помощью бульдозеров огромные земляные резервы в непосредственной близости от канала. О возможном снижении урожая на осушенных почвах в результате перекрытия пахотного слоя породой можно судить по данным, полученным автором и К.С. Болатбековой (1984) в условиях вегетационных опытов на известкованных и удобренных почвах. Существенно, что зерновые и травы, как правило, резко снижали или не давали урожай вообще на материнской неокультуренной породе. Вместе с тем глеевые горизонты почвы после проветривания и высушивания нередко обладают более высокой продуктивностью, чем неоглеенные материнские породы. Наиболее отчетливо это проявляется в опытах со злаковыми травами и при возделывании бобовых культур (табл. 6.18).

Из этого следует, что при мелиоративном проектировании необходимо предусматривать, во-первых, мероприятия по тщательному планированию поверхности почв, особенно в непосредственной бли-

зости от каналов, профилированию межканального пространства. Во-вторых, по трассе разравниваемого кавальера следует внимательно произвести работы по повышению (или по созданию) плодородия поверхностного горизонта, нередко образованного только извлеченной на поверхность породой. В-третьих, на участках формирования особо крупных земляных резервов (например, у открытых каналов при осушении тяжелых почв на ленточных глинах) для ускоренного сброса поверхностных вод в каналы наряду с водовыпускными воронками может оказаться целесообразным устройство вдоль каналов отсечных дрен с траншейными (гравелистыми, щебнистыми и др.) фильтрами.

Таблица 6.18

Относительная оценка продуктивности тяжелых почвообразующих пород и глеевых горизонтов почв Нечерноземной зоны

Порода	Вариант*	Ячмень	Фасоль	Тимофеевка
		урожай, % от контроля		
Пермская карбонатная глина	A_p	100	100	100
	C	–	35	17
	G	–	142	74
Аллювиальная глина	A_p	100	100	100
	C	–	111	86
	G	92	117	91
Ленточная глина	A_p	100	100	100
	C	–	24	55
	G	81	29	81
Кислая моренная глина	A_p	100	100	100
	C	–	–	68
	G	–	41	98
Покровная лессовидная глина	A_p	100	100	100
	C	86	111	78
	G	93	34	82

* C — почвообразующая порода; G — глеевый горизонт; A_p — контроль, пахотный горизонт неоглеенной окультуренной почвы; — урожай не получен.

Поступление значительных объемов малоплодородного мелкозема на поверхность почвы возможно не только при строительстве крупных открытых каналов проводящей сети, но и при укладке гончарного дренажа в траншеи. При этом, чем меньше междренные расстояния, тем большие объемы такого мелкозема поступают на

поверхность, существенно снижая урожайность культур и плодородие почв. Эта причина вторичной литологической пестроты проявляется в максимальной степени при строительстве густого закрытого систематического гончарного дренажа современными траншейными экскаваторами. Очевидно поэтому, что изменение технологии строительства, например переход на бестраншейный или узкотраншейный пластмассовый дренаж, создаст более благоприятные агроэкологические условия, исключит или ограничит выбросы неплодородного почвогрунта на поверхность.

2. Второй причиной антропогенной литологической пестроты, существенно влияющей на продуктивность почв осушенных массивов, нередко являются излишне глубокая срезка поверхностных горизонтов почв и выход на дневную поверхность иллювиальных и оглеенных горизонтов, материнской породы.

Приведенные в табл. 6.18 данные свидетельствуют, что к оценке снижения плодородия почвы в результате накопления на ее поверхности малоплодородных горизонтов нижней части профиля или их выхода в результате срезки следует подходить дифференцированно с учетом плодородия материнских пород различного генезиса. Вегетационные исследования показывают, что в Нечерноземной зоне аллювиальные породы обладают значительно более высоким плодородием, чем моренные и ленточные глины. Поэтому срезки при планировке почв на аллювиальных отложениях оказываются менее опасными, чем на других почвообразующих породах.

Учитывая большое значение объективного отражения вторичной литологической пестроты поверхностных слоев почвы в прикладном отношении с целью рационального планирования эксплуатационных мероприятий, целесообразно на осушаемых массивах предусматривать подготовку картограмм почвенно-литологических изменений, определяющих пестроту почвенного плодородия. Их составление следует, прежде всего, выполнять для массивов, осушаемых с использованием открытой сети, на территориях со значительным объемом планировочных работ, а также при осушении заболоченных почв густой систематической сетью траншейного дренажа.

3. Третий постоянно действующий фактор вторичной литологической пестроты почвенного покрова — *вертикальные образования,* возникающие как результат строительства дренажа. Их появление связано с тем, что после укладки керамических дрен дренажная тран-

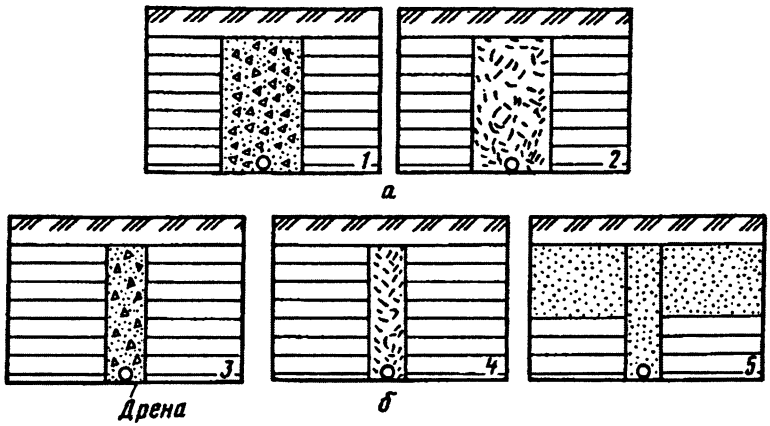


Рис. 6.8. **Траншейные и щелевые засыпки и фильтры — вторичные вертикальные образования, возникающие в профиле почв при строительстве закрытого керамического (*а*) и бестраншейного пластмассового (*б*) дренажа. *1, 3* — соответственно траншейный и щелевой гравийно-песчаный фильтры; *2, 4* — обратная засыпка, обогащенная гумусом соответственно в траншее и в щели; *5* — обратная засыпка из супесчано-песчаного мелкозема, возникающая в двучленных почвах с близким залеганием суглинисто-глинистого слоя**

шея заполняется либо так называемой обратной засыпкой (т.е. смесью всех горизонтов от поверхности до дна траншеи), либо в траншее устраивают хорошо водопроницаемый стабильный траншейный фильтр (рис. 6.8). Обратная засыпка отличается повышенным содержанием органического вещества по сравнению с почвенным монолитом в толще от дрены до подошвы подпахотного слоя. Переработка почвенного материала в результате его выемки, обогащения органикой и последующей засыпки в траншею приводит к возникновению нового вертикального почвенного образования, которое на определенном этапе или постоянно обладает более высокими пористостью, фильтрацией, интенсивным развитием ризосферы, лучшей агрегированностью и другими положительными особенностями, играющими важную роль в эволюции осушенных почв. В частности, толща обратной засыпки или траншейные фильтры становятся зоной активной вертикальной миграции гравитационной влаги, осуществляя гидрологическую связь пахотного горизонта с дренажной трубой (табл. 6.19).

Применение бестраншейного пластмассового дренажа в принципе не исключит формирования таких новообразований. В этом случае

произойдет лишь уменьшение площади их поперечного сечения, поскольку пластмассовую дрену укладывают в щель шириной 8–20 см (ширина траншеи при строительстве керамического дренажа 50 см, узкой траншеи 25–35 см).

Таблица 6.19

Водопроницаемость траншейных засыпок — антропогенных вертикальных образований в осушенных почвах на тяжелых породах

Порода, пункт	Горизонт, глубина, см	Коэффициент фильтрации, м/сут. Метод Хануса			
		контроль, недренированная почва	дренированная почва		
			траншейная засыпка	междренье	
				нерыхленое	рыхленое
	Дерновые глеевые почвы, 8 лет последействия				
Пермская карбонатная глина. «Ивакинские пашни». Кировская обл.	G 25–33	0,01 ± 0,004	1,47 ± 1,23	0,01 ± 0,002	2,22 ± 1,8
	B2 52–60	0,05 ± 0,04	3,67 ± 0,92	0,08 ± 0,06	1,16 ± 0,96
	$BC_{g'}$ 82–90	0,1 ± 0,085	1,40 ± 1,07	0,27 ± 0,23	0,24 ± 0,21
	Дерново-подзолистая глееватая, 8 лет последействия				
Покровные лессовидные тяжелые суглинки и легкие глины. «Красный балтиец». Московская обл.	$A2B_{g',mr}$ 25–33	0,15 ± 0,08	0,81 ± 0,60	0,09 ± 0,08	0,74 ± 0,33
	$B1_{g',mr}$ 55–63	0,04 ± 0,03	1,57 ± 1,22	0,03 ± 0,03	0,91 ± 0,32
	$B2_{g'',mr}$ 80–90	0,14 ± 0,06	5,39 ± 0,3	0,11 ± 0,09	0,12 ± 0,08
	Дерново-подзолистая глееватая, 6 лет последействия				
Ленточные тяжелые глины. «Витка». Новгородская обл.	$A2B_{g',mr}$ 30–50	–	0,015	0,004	0,008
	$B1_{g'',mr}$ 50–70	–	0,003	0,003	0,004
	$B2_{g'',mr}$ 80–90	–	0,24	0,004	0,001

* Приведены данные по значениям $K_ф$ после глубокого (на 80 см) активного мелиоративного рыхления почв.

При использовании бестраншейного пластмассового дренажа на слабоводопроницаемых почвах ($K_ф$ < 0,1–0,06 м/сут.) необходимо искусственные фильтры из стабильных хорошо фильтрующих материалов (гравий, галечник, щебень, шлак, керамзит и др.), заполняющих все пространство щели. На относительно водопроницаемых почвах при прохождении ножа дреноукладчика на дне щели и вокруг дрены образуется зона повышенного содержания органического вещества.

В случае укладки такого дренажа на маломощном и среднемощном двучлене (если верхний слой имеет легкий супесчано-песчаный гранулометрический состав) вся или большая часть пространства дренажной щели заполняется мелкоземом легкого состава.

Из изложенного следует, что какой-бы вид закрытого материального дренажа не был применен для осушения почв, он всегда будет сопровождаться возникновением вертикальных образований, определяющих вторичную литологическую пестроту почв.

Таким образом, пестрота почвенного покрова осушенного массива определяется сложным комплексом ряда факторов. Их понимание и анализ необходимы для правильной оценки эволюции почв, действия дренажа и повышения их плодородия.

6.7. Прогноз изменения режима грунтовых вод на неосушаемом водосборе под влиянием сопредельных мелиоративных систем по методу Ф.М. Бочевера, А.Г. Булавко и К.Ф. Янковского

В условиях полесских ландшафтов, где причиной заболачивания являются грунтовые воды, а почвы и почвообразующие породы отличаются высокой водопроницаемостью, при проектировании мелиоративной системы необходим прогноз изменения уровней грунтовых вод как локально в границах систем, так и за ее пределами на водосборной площади. Такой прогноз актуален не только при дренаже почв территорий, образованных флювиогляциальными отложениями в полесьях, но и аллювиальными — в поймах рек, а также легкими песчано-супесчаными моренными породами. Именно в этих условиях наиболее отчетливо проявляются влияние дренажа и проводящей сети на уровни грунтовых вод, примыкающей к осушительной системе площади недренированного водосбора (рис. 6.9).

Ниже изложена методика расчета вторичного установившегося уровня грунтовых вод в результате длительного влияния дренажных систем, предложенная для этих условий Ф.М. Бочевером, А.Г. Булавко и К.Ф. Янковским (1977).

Рассмотрим наиболее распространенный случай — дренирующее действие на грунтовые воды водосбора одной изолированной системы.

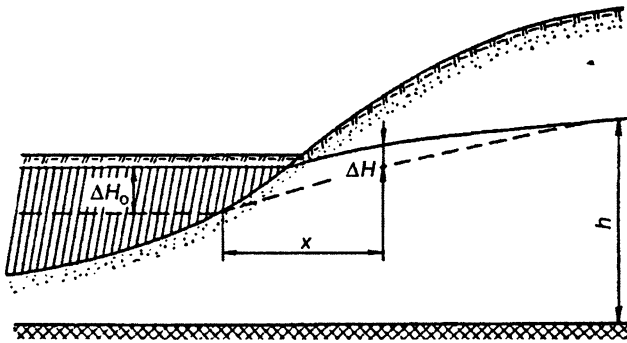


Рис. 6.9. **Расчетная схема к формуле Ф.М. Бочевера**

Для оценки влияния одной мелиоративной системы, действие которой осуществляется по схеме, приведенной на рис. 6.9, рекомендуется формула Ф.М. Бочевера (1959):

$$\Delta H = \Delta H_0 \operatorname{erfc}(z), \qquad (61)$$

где ΔH — снижение уровня грунтовых вод в расчетной точке, м;

ΔH_0 — снижение уровня на границе мелиоративной системы, м;

z — величина, равная

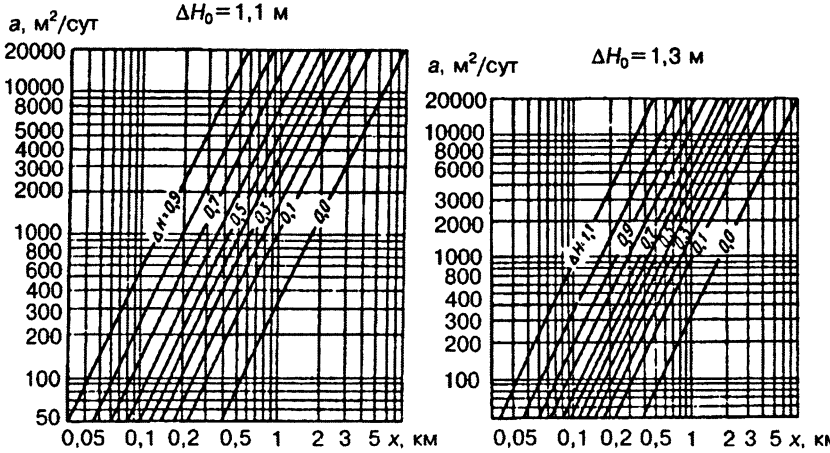


Рис. 6.10. **График для определения зон влияния мелиоративной системы на грунтовые воды прилегающих территорий в зависимости от ΔH_0**

$$z = \frac{x}{2\sqrt{at}}, \qquad (62)$$

где x — расстояние расчетной точки от границы мелиоративной системы, м;

a — коэффициент уровнепроводности $\frac{K_\phi \cdot h}{\mu}$, м^2/сут.;

t — время от начала снижения уровня, сут.;

K — коэффициент фильтрации, м/сут.;

h — средняя мощность водоносного горизонта, м;

μ — коэффициент водоотдачи;

erfc — функция, значения которой приведены в табл. 6.20.

Время t принято равным 180 суткам — период, в течение которого обычно происходит естественное снижение уровня грунтовых вод от весеннего максимума до осеннего минимума. Значения ΔH_0 соответствуют норме осушения (рис. 6.10).

Таблица 6.20

Значение функции erfc (z)

z	erfc (z)	z	erfc (z)	z	erfc (z)
0,0	1	0,29	0,6817	0,66	0,3606
0,01	0,9887	0,30	0,6714	0,68	0,3362
0,02	0,9774	0,31	0,6611	0,70	0,3332
0,03	0,9662	0,32	0,6509	0,72	0,3086
0,04	0,9549	0,33	0,6407	0,74	0,2953
0,05	0,9436	0,34	0,6306	0,76	0,2835
0,06	0,9324	0,35	0,6206	0,78	0,2700
0,07	0,9211	0,36	0,6107	0,80	0,2579
0,08	0,9099	0,37	0,6008	0,82	0,2462
0,09	0,8987	0,38	0,5910	0,84	0,2349
0,10	0,8875	0,39	0,5813	0,86	0,2239
0,11	0,8764	0,40	0,5716	0,88	0,2133
0,12	0,8652	0,41	0,5620	0,90	0,2031
0,13	0,8541	0,42	0,5525	0,92	0,1932
0,14	0,8431	0,43	0,5431	0,94	0,1837
0,15	0,8320	0,44	0,5338	0,96	0,1746
0,16	0,8210	0,45	0,5245	0,98	0,1658
0,17	0,8100	0,46	0,5153	1,00	0,1573
0,18	0,7991	0,47	0,5062	1,10	0,1198
0,19	0,7882	0,48	0,4973	1,20	0,0897

Продолжение таблицы 6.20

z	erfc (z)	z	erfc (z)	z	erfc (z)
0,20	0,7773	0,49	0,4883	1,30	0,0660
0,21	0,7665	0,50	0,4795	1,40	0,0477
0,22	0,7557	0,52	0,4621	1,50	0,0339
0,23	0,7450	0,54	0,4451	1,60	0,0237
0,24	0,7343	0,56	0,4284	1,70	0,0162
0,25	0,7237	0,58	0,4121	1,80	0,0109
0,26	0,7131	0,60	0,3961	1,90	0,0072
0,27	0,7026	0,62	0,3800	2,00	0,0047
0,28	0,6921	0,64	0,3654	–	–

6.8. Гидрогеохимические исследования затопленных почв и грунтов дна водоемов съемными контейнерами по методу Ф.Р. Зайдельмана и Я.М. Гаджиева

Затопленные почвы, образующие днища искусственных водохранилищ, и грунты водоемов оказывают существенное влияние на химический, физико-химический и физический состав водных масс. Это влияние субаквальных почв и грунтов, в частности, обусловливает химизм и качество воды. Оно оказывает известное влияние на видовой и количественный состав фито- и зообентоса, а также на биогеоценотические взаимосвязи гидробионтов водоемов в целом.

Вместе с тем затопленные почвы и грунты водохранилища и их степень участия в общем цикле миграции элементов в водоемах изучены весьма неполно. Особенно ограничены сведения о влиянии на воду почв и пород различного генезиса, гранулометрического и химического состава. В известной мере неполнота этих сведений определяется несовершенством методики изучения эволюции почв в субаквальных условиях. Так, при изучении затопленных почв в настоящее время обычно используют различного рода трубчатые буры (типа трубки ГОИН) или драги, которые извлекают на дневную поверхность небольшие образцы поверхностных горизонтов этих почв из разных, обычно весьма произвольных, точек дна водохранилища. Этот процесс исследования не только весьма трудоемок, но он исключает возможность отбора представительных и сопоставимых проб, так как взятие последних происходит на постоянно

обновляемых участках вслепую, а исходные свойства почв обычно известны в самом общем виде или вообще не установлены.

Наконец, такого рода отбор образцов субаквальных почв донными бурами, трубками и другими приспособлениями исключает возможность их дистанционного изучения.

Существенно и то, что мелководная часть водохранилищ может быть возвращена в сельскохозяйственное использование в результате строительства польдерных осушительно-обводнительных систем. В этом случае необходимо представлять основные тенденции изменения свойств ранее затопленных почв пойм и первых надпойменных террас.

В связи с изложенным, нами была разработана специальная методика, которая позволила с достаточной достоверностью решать затронутые вопросы в условиях, близких к естественным, исследовать процессы взаимодействия затопленных почв различного генезиса и водных масс водохранилищ или иных водоемов.

С помощью рекомендуемой методики могут быть изучены процессы взаимодействия почв (или грунтов) и вод водохранилища, вынос (или аккумуляция) различных мигрантов из поверхностных горизонтов затопленных почв, динамика химических процессов в почвогрунтах дна водоемов, процесс формирования фито- и зообентоса, микрофлоры и др.

Сущность разработанной нами методики заключается в следующем. С целью изучения процессов выноса (и аккумуляции) различных химических элементов из крупного образца исследуемой почвы отбирается представительная средняя проба. Далее эта проба почвы (или грунта) весом 4–5 кг (или более) загружается в специальные контейнеры, изготовляемые из пластмасс. Контейнеры с пробой опускают с помощью несложного такелажного устройства на дно водоемов и экспонируют в таких условиях в соответствии программой исследований. Для фиксации местоположения контейнера и его подъема на поверхность фал, с помощью которого контейнер был опущен на дно, может закрепляться на стационарных сваях обычно в тех случаях, когда исследуется дно водохранилища в мелководней зоне, или на поплавках, если изучается глубоководная зона водохранилищ (рис. 6.11).

После завершения срока экспозиции контейнер поднимают на поверхность, и из него извлекают необходимый объем почвы для анали-

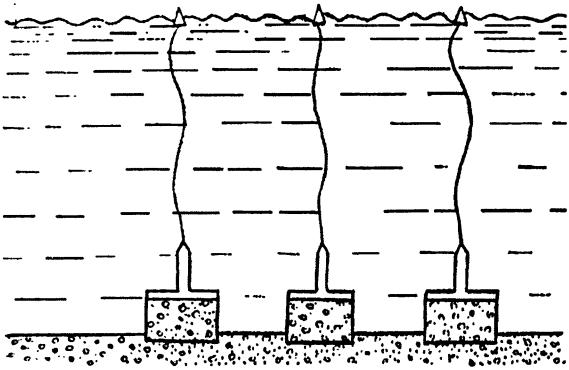


Рис. 6.11. **Схема установки контейнеров с почвой в глубоководной зоне водоемов для проведения длительных биогеохимических исследований**

за. Затем контейнер вновь опускается на дно. Для защиты почвы от размыва при спуске и подъеме контейнер снабжен плотной заменяемой крышкой, которая после установки контейнера на дно и перед его подъемом на поверхность соответственно снимают или одевают.

Контейнер в предлагаемом нами варианте, кроме того, позволяет производить дистанционные непрерывные наблюдения за изменением

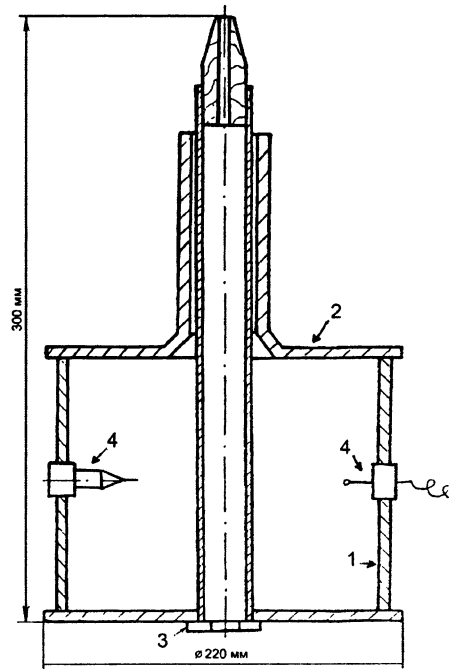


Рис. 6.12. **Эскиз контейнера, оборудованного датчиками для дистанционных исследований. Условные обозначения:** ***1*** **— емкость контейнера с направляющей трубкой и заглушкой;** ***2*** **— съёмная крышка контейнера;** ***3*** **— кольцо крепления фала;** ***4*** **— датчики приборов дистанционных замеров**

окислительно-восстановительного потенциала образца почвы, помещенного в его емкости, температуры и других параметров (рис. 6.12). Для этого в контейнере делаются соответствующие отверстия, которые позволяют вводить специальные датчики в исследуемую толщу мелкозема.

Одновременно разработанная конструкция контейнеров позволяет вести систематические наблюдения за седиментацией наилка на поверхности дна водохранилища, а также осуществлять наблюдения за процессом формирования микрофлористического пейзажа, фито- и зообентоса. Для визуального наблюдения за скоростью кумуляции наилка на поверхности дна водохранилища в верхнюю часть контейнера встраивают вертикальное узкое (шириной 3 см) окно из органического стекла.

Глава 7
Почвенно-мелиоративные изыскания и мелиоративное районирование почв

Независимо от природных условий мелиоративное строительство всегда должно осуществляться по проекту. Важнейшим элементом обоснования любого проекта мелиорации почв являются почвенно-мелиоративные изыскания, результаты которых оформляют в виде почвенно-мелиоративных и ботанико-культуртехнических карт, материалов по характеристике физических, гидрофизических, химических свойств почв, а также в форме специализированных почвенно-мелиоративных картограмм (например, картограмм засоления, солонцеватости, каменистости, устойчивости кротовых дрен, ожелезнения почв и грунтовых вод и др.). Нередко для обоснования системы мероприятий в сложных и малоизученных природных условиях предусматривают выполнение специальных почвенно-мелиоративных исследований по индивидуальным программам.

Однако детальность и состав почвенно-мелиоративных работ определяют не только сложность объекта мелиорации, но и стадия мелиоративного проектирования.

7.1. Почвенно-мелиоративные изыскания на разных стадиях проектирования мелиоративных систем

Мелиоративное проектирование в соответствии с действующими строительными нормами и правилами (СНиП) осуществляют в четыре стадии:

1. «Обоснование инвестиций» в строительство объектов мелиорации.
2. «Проект».
3. «Рабочий проект».
4. «Рабочая документация».

В соответствии с этими стадиями меняется содержание и состав почвенно-мелиоративных изысканий.

7.1.1. «Обоснование инвестиций» в строительство объектов мелиорации

Первая стадия проектирования мелиоративных систем носит название «Обоснование инвестиций».

«Обоснование инвестиций» служит для принятия решения о хозяйственной необходимости, технической возможности, экономической и социальной значимости инвестиций в мелиоративное строительство с учетом его экологической и эксплуатационной целесообразности.

На стадии разработки «Обоснования инвестиций» должны быть даны:

1. Общие оценки природных условий строительства объекта мелиорации.
2. Намечены методы и способы мелиорации с учетом особенностей основных элементов ландшафта.
3. Предложены меры по предотвращению возможных неблагоприятных изменений природной среды.

«Обоснования инвестиций» должны состоять из текстовой и графической частей. Текстовая часть оформляется в виде отдельной книги. В составе раздела «Природные условия объекта» она содержит главу «Почвенно-мелиоративные и культуртехнические условия объекта».

На стадии «Обоснование инвестиций» выполняют почвенно-мелиоративные и ботанико-культуртехнические изыскания. Результатом изысканий является почвенно-мелиоративная карта с рекомендациями по освоению и эксплуатации почв, прогнозы их изменения. Такие карты составляют в масштабах (М) 1:50000–1:100000 на планово-высотной топоснове в М 1:25000–1:50000 на объектах орошения и в М 1:10000–1:25000 на объектах осушения. Более крупный масштаб съемки на этой стадии допустим только на типовых участках — М 1:2000–1:5000.

Карты для стадии «Обоснование инвестиций» составляют преимущественно камерально по существующим архивным материалам ранее выполненных съемок. После составления карты проверяют в полевых условиях контрольными маршрутами. При этом производят строгую привязку почвенных выработок (GPS). При отсутствии архивных картографических материалов на изучаемую территорию

предусматривают выполнение почвенно-мелиоративных изысканий с целью составления карты необходимого среднего масштаба.

При выполнении почвенных картографических работ в М 1:25000 и крупнее съемку производят всегда в полевых условиях (подробнее см. почвенно-мелиоративные изыскания для обоснования «Проекта»).

Для стадии «Обоснование инвестиций» в качестве образца следует использовать «Агроландшафтную экологическую почвенно-мелиоративную карту Центра Нечерноземной зоны» в М 1:1500000.

Стадия «Обоснование инвестиций» разрабатывается для крупных мелиоративных объектов, строительство которых намечается по очередям.

Почвенные изыскания проводят для обоснования проектных решений в целом по объекту с выделением первой и последующих очередей.

При наличии материалов изысканий прошлых лет, выполненных в составе «Отраслевой» схемы в масштабе, отвечающем схеме генплана, дополнительные изыскания не проводятся на территориях, относящихся к I категории сложности природных условий.

Детальное изучение почвенного покрова, свойств почв, имеющих важное мелиоративное значение, водно-физических свойств, промываемости выполняют на типовых участках.

Почвовед наряду с почвенно-мелиоративной съемкой на стадии «Обоснования инвестиций» выполняет ботанико-культуртехнические изыскания, результатом которых является карта одноименного названия в масштабах 1:25000–1:50000 для объектов орошения и 1:10000–1:25000 — для объектов осушения.

7.1.2. «Проект»

Вторая стадия проектирования называется «Проект».

«Проект» является основным документом на строительство объектов мелиорации земель. Проект разрабатывают на основании утвержденных в строительство в установленном порядке «Обоснований инвестиций» объектов мелиорации. При составлении «Проекта» осуществляется подробная разработка и детализация инженерных технологических решений и природоохранных мероприятий, принятых в «Обоснованиях инвестиций» и уточняются основные технико-экономические показатели.

На стадии «Проекта» дается детальная характеристика почвенно-мелиоративных и ботанико-культуртехнических условий объекта мелиорации. При этом предусматривают получение следующей информации:

2.1. Почвенные разновидности, их распределение по площади и условия залегания (элементы рельефа, почвообразующие и подстилающие породы, растительный покров, глубины залегания и минерализация грунтовых вод);

- основные агротехнические и агропроизводственные характеристики почв: мощность пахотного горизонта, гумус, содержание общего азота, гипса, подвижных форм фосфора и калия; мощность подзолистого горизонта, глубина и степень оглеения, гранулометрический состав, каменистость; мощность и степень разложения торфа, ботанический состав, зольность;
- наличие заболоченных и засоленных почв, причины заболачивания, засоления почв (засоление почвогрунтов, капиллярный подъем, наличие верховодки, вторичное засоление и т.д.); площади, тип и степень засоления почв, распределение солей по почвенному профилю, содержание водорастворимых токсичных солей и т.д.;
- наличие солонцеватых почв и причины солонцеватости, их площади по степени солонцеватости;
- наличие и количественная оценка деградационных процессов — ветровой и водной эрозии, сработки гумуса, слитизации и т.д.;
- данные по загрязненности почв: виды и особенности загрязнений, распределение загрязняющих веществ по территории, сопоставление с ПДК, распределение загрязненности по почвенному профилю.

2.2. Свойства почв, определяющие режим орошения: естественная влажность, плотность почв и плотность их твердой фазы, пористость, аэрация; предельная полевая (или динамическая) влагоемкость, влажность устойчивого завядания.

2.3. Свойства почв, определяющие технику орошения: водопроницаемость при поливах дождеванием, по бороздам и полосам, затоплением; наличие водоупорных и дренирующих прослоев; коэффициенты фильтрации и водоотдачи (для расчета дренажа).

2.4. Почвенно-мелиоративное районирование, рекомендации по использованию и улучшению почв: почвенно-мелиоративные районы (группы), характеристика продуктивности сельско-

хозяйственных культур на основных почвенных разновидностях каждого района в годы разной влажности, рекомендации по использованию почв под различные сельскохозяйственные культуры и рекомендуемые агротехнические мероприятия.

2.5. Опасность вторичного заболачивания, засоления и осолонцевания почв:

- возможность развития вторичного засоления почв при орошении и рекомендуемые в связи с этим мероприятия (по поливному режиму, строительству дренажа и проведению промывок засоленных земель и т.д.); оценка возможности развития солонцеватости:
- результаты полной водной вытяжки с определением плотного остатка, кислотности, щелочности и состава обменных катионов (Ca, Mg, Na);
- возможность развития солонцеватости при поливе слабоминерализированными водами и соображения о потребности в химических мелиорациях.

2.6. Опасность дальнейшего развития деградационных процессов ветровой и водной эрозии почв, снижения гумусности, слитизации и т.д.

2.7. Прогноз изменения свойств почв при эксплуатации мелиоративной системы.

2.8. Оценка целесообразности проведения планировочных работ, исходя из принятой техники полива; оценка влияния планировок на питательный, солевой режимы и водные свойства почв на объектах осушения и орошения.

2.9. Ботанико-культуртехническая характеристика территории.

Результаты изысканий предоставляют в виде «Пояснительной записки» и соответствующих карт. На основе полевых и камеральных работ составляют:

2.10. Комплексную почвенно-мелиоративную карту с классификацией почв по почвенно-мелиоративным районам, степени заболоченности, засоления, водно-физическим свойствам и другим показателям; рекомендациями по освоению, эксплуатации почв и прогнозу их трансформации.

2.11. Ботанико-культуртехническую карту с нанесением контуров естественных угодий, результатов хозяйственной деятельности и стихийных бедствий, пнистости торфяных и каменистости минеральных почв, залесённости, закустаренности, закочкаренности и т.д. в

масштабах съемки 1:2000–1:25000 по объектам орошения и 1:2000–1:10000 — по объектам осушения.

2.12. Карта прогноза изменения гидрогеологических и почвенно-мелиоративных условий (на период 5–10 лет) с указанием границ и основных элементов мелиоративной системы в М 1:10000–1:25000. Эту карту составляют совместно почвоведы, гидрогеологи и проектировщики-гидротехники.

При обосновании стадии «Проект» на крупных и сложных объектах проектирование осуществляют в две стадии: проект и рабочая документация.

Почвенные изыскания на стадии «Проект» проводятся для обоснования состава и объема мелиоративных мероприятий, получения исходных данных для производства инженерных расчетов.

Площадь почвенных изысканий не должна превышать площадь орошения или осушения нетто больше, чем в 1,2–1,4 раза, поймах и дельтах — в 1,6 раза.

В особых случаях при большой неоднородности почвенного покрова, распространении неполноразвитых почв допускается увеличение площади до 1,8–2,0 раза.

Размер превышения площади съемки обосновывают в программе работ.

На засоленных, солонцеватых, кислых почвах образцы отбирают из каждого шурфа, заложенного при почвенной съемке.

Для почвенно-мелиоративного обоснования проектов орошения составляют совмещенную почвенную и почвенно-мелиоративную карты; для проектов осушения в зависимости от причин заболачивания — комплексную почвенно-мелиоративную инженерно-геологическую или мелиоративную почвенно-литологическую карты соответствующих съемке масштабов (в необходимых случаях — картограммы мощности гумусовых горизонтов, каменистости, эродированности, дефлированности и т.д.) и отчет.

На системах, подлежащих реконструкции, почвенные изыскания проводят в М 1:5000–1:10000.

7.1.3. «Рабочий проект»

«Рабочий проект» при сложных природных условиях является второй стадией реализации «Проекта» мелиорации.

В простых природных условиях проектирование мелиоративных мероприятий осуществляется в одну стадию, минуя стадию «Проект». Составляют только «Рабочий проект». Он содержит конкретные решения и рабочие чертежи на производство строительно-монтажных работ. Масштабы карт почвенно-мелиоративных, ботанико-культуртехнических и других изысканий при любых видах проектирования (проект или рабочий проект) тождественны.

При составлении «Рабочих проектов» возможно дополнение или корректура материалов предшествующих изысканий. С этой целью предусматривают работы по уточнению материалов изысканий и проектирования путем получения дополнительной информации на стадии «Рабочая документация».

При одностадийном проектировании выполняют полный комплекс изысканий, необходимый для обоснования мелиоративных мероприятий в объеме, соответствующем проекту и рабочей документации.

В зависимости от природных особенностей объекта одновременно выполняют почвенную съемку, солевую съемку, съемки для составления картограмм солонцеватости, кислотности почв М 1:5000 (табл. 7.1), изучают водно-физические свойства, промываемость почвогрунтов.

Таблица 7.1

Масштабы почвенно-мелиоративных съемок избыточно увлажненных территорий

Характер использования территории	Массивы, образованные торфяными почвами с однородным гранулометрическим составом минерального дна	Массивы, образованные минеральными в различной степени заболоченными почвами или минеральными и торфяными почвами	Массивы, образованные засоленными заболоченными и болотными почвами
Полевые и луговые угодья	1:5000–1:10000	1:2000–1:5000	1:2000–1:5000
Сады	1:5000–1:10000	1:2000–1:5000	1:2000–1:5000
Экспериментальные участки	1:1000–1:2000	1:1000–1:2000	1:500–1:1000

Для почвенно-мелиоративного обоснования рабочих проектов составляют совмещенную почвенно-мелиоративную карту (объекты орошения), почвенно-мелиоративную инженерно-геологическую

или мелиоративную почвенно-литологическую карты (объекты осушения), необходимые картограммы, краткий отчет.

7.1.4. «Рабочая документация»

«Рабочую документацию» на строительство объектов мелиорации земель составляют с целью детализации материалов «Проекта», необходимых для выполнения строительно-монтажных работ. «Рабочая документация» разрабатывается на основании утвержденных проектов.

Почвенно-мелиоративные изыскания на стадии «Рабочей документации» на строительство объектов мелиорации почв включают подготовку следующих уточняющих документов:

- составления картограмм pH, содержания фосфора и калия; картограмм внесения известковых мелиорантов, органических и минеральных удобрений (в масштабе почвенно-мелиоративных карт), устойчивости кротовых дрен;
- корректуру контуров засоления, заболоченности, каменистости, солонцеватости, слитости, гранулометрического состава и других в М 1:2000.

Таким образом, основной объем почвенно-мелиоративных изысканий для обоснования мелиоративного строительства выполняют на стадии «Проекта». Главным документом почвенно-мелиоративных изысканий является почвенно-мелиоративная карта.

Почвенные изыскания проводят для решения конкретных вопросов освоения земель, возникающих в процессе проектирования, рассмотрения проекта в утверждающей инстанции и в период строительства.

Масштаб, состав и объем почвенных изысканий, методику и порядок их производства устанавливают программой работ, составленной на основе и с обязательным использованием материалов изысканий для проекта, с учетом вопросов, требующих уточнения или дополнительного изучения.

Солевую съемку, съемки для составления картограмм солонцеватости, кислотности почв выполняют в масштабах 1:5000–1:10000 (табл. 7.1) в границах, определенных на стадии «Проект».

На стадии рабочей документации составляют картограммы засоления, солонцеватости, кислотности почв, устойчивости кротовых дрен, гранулометрического состава и краткий отчет.

7.2. Содержание почвенно-мелиоративных карт для обоснования проектов мелиорации

Почвенно-мелиоративные карты синтезируют всю сумму данных о почвах как объекте мелиорации. Они обобщают сведения, полученные в процессе почвенно-мелиоративной съемки, изучения водно-физических, физико-механических и других свойств почв, оценки гидрогеологических, геоморфологических, гидрохимических и иных условий. Именно поэтому они носят комплексный характер и отражают результаты изысканий в наиболее лаконичной и конкретной форме. Масштаб этих карт, как правило, должен соответствовать масштабу генерального плана проекта.

При составлении почвенно-мелиоративных карт независимо от их типа для территории перспективного развития мелиорации исходят из следующих принципиальных положений:

- во-первых, карты составляют на основе генетических представлений с учетом всех естественно-исторических факторов;
- во-вторых, карты и их легенды определяют общий характер и направление мелиорации, но не дают еще конкретного состава мелиоративных мероприятий для исследуемой территории, так как на этой стадии, т.е. на стадии завершения изысканий, еще не известны технические решения и экономические условия объекта мелиорации;
- в-третьих, поскольку последние выявляются в процессе проектирования, то только на этом этапе может быть рассмотрен и принят состав конкретных мелиоративных мероприятий.

Поэтому почвенно-мелиоративные карты отражают условия, в которых будут осуществляться мелиоративные мероприятия, содержат сведения об их важнейших особенностях, необходимые для выбора целесообразных инженерных решений, но в них отсутствуют конкретные и завершенные рекомендации по способам мелиорации.

Вместе с тем сведения, содержащиеся в легенде и непосредственно на почвенно-мелиоративной карте, являются определяющими для технико-экономического обоснования конкретных проектных решений.

Эти задачи могут быть решены с наибольшей полнотой, если почвенно-мелиоративные изыскания выполняют в комплексе с инженерно-геологическими (гидрогеологическими) [Шраг, 1959;

Зайдельман, 1957]. При организации и выполнении этих работ необходимо учитывать наличие двух типов мелиоративных объектов — простых и сложных.

На простых в природном и мелиоративном отношениях объектах, заболоченных, как правило, поверхностными водами и образованных однородными по генезису и гранулометрическому составу породами почвовед одновременно может выполнять не только собственно почвенно-мелиоративные изыскания, но и работы по изучению и картографированию поверхностных горизонтов грунтовых толщ мощностью до 5 м. В этом весьма распространенном случае весь цикл почвенно-мелиоративных и инженерно-геологических изысканий выполняет один специалист-почвовед, для работы которого в случае необходимости придается буровая бригада.

Такой способ проведения почвенно-мелиоративных и инженерно-геологических изысканий применим для районов распространения покровных, моренных, мощных озерно-ледниковых суглинков и глин, на глинистом карбонатном элювии пермских отложений, на двучленных породах при подстилании относительно легкого наноса тяжелым (например, флювиогляциальный песок и супесь мощностью до 1,0–1,3 м на суглинистых и глинистых породах разного генезиса), то есть там, где в заболачивании почв не принимают участия грунтовые воды. К такого рода территории относятся массивы каштановых и черноземных почв предгорных и межгорных долин, образованных мощной толщей (15–20 м и более) галечникового аллювия с глубоким залеганием грунтовых вод. На таких относительно простых массивах специальные инженерно-геологические изыскания выполняют локально для обоснования строительства конкретных гидротехнических сооружении, например магистральных каналов и дамб, насосных станций, мостов др.

На массивах с более сложными природными условиями при неоднородном гранулометрическом составе горизонтов почвенного профиля, почвообразующих и подстилающих пород, при участии в заболачивании и засолении поверхностных и грунтовых (напорных) или только грунтовых вод при сложном геоморфологическом строении территории почвенно-мелиоративные и инженерно геологические (гидрогеологические) изыскания выполняют раздельно самостоятельными специализированными отрядами по согласованной программе.

Такие сложные в природном и мелиоративном отношениях массивы приурочены обычно к пойменным и надпойменным террасам рек и озер, к районам распространения зандровых (флювиогляциальные и древнеаллювиальные) равнин (полесий). В этом случае необходимо предусматривать инженерно-гидрогеологическую съемку всей территории объекта и последующее составление соответствующих комплексных почвенно-мелиоративных и инженерно-гидрогеологических карт.

7.2.1. Топографическая основа, масштаб и выработки при почвенно-мелиоративных изысканиях, категории сложности

Почвенно-мелиоративные изыскания на избыточно увлажненных массивах состоят из территориальной съемки почвенного покрова и изучения водно-физических свойств. В процессе съемки предусматривают изучение литологического строения верхней двухметровой толщи по разрезам или с помощью специального зондирования. Более глубокие исследования литологического строения почвообразующих и подстилающих пород до 3,0–5,0 м и более выполняют специализированные буровые бригады.

Основой для съемочных картографических работ является топографическая карта. Лучшая топооснова — планово-высотная карта, выполненная на неотбеленных контактных аэрофотоснимках с сечением горизонталями в соответствии с принятым масштабом съемки.

Если при наличии планово-высотной основы на исследуемом участке нет достаточной сети ориентиров и нет гарантии в точности съемки, проводят инструментальную или иную привязку разрезов.

Масштаб топоосновы должен быть не менее масштаба, установленного для данного вида съемки.

Масштаб почвенно-мелиоративной съемки для обоснования «Проекта» зависит от особенностей природной обстановки и характера сельскохозяйственного использования территории (табл. 7.1).

Для изучения почвенного покрова на территории мелиорируемого массива закладывают *почвенные выработки* — разрезы, прикопки, буровые и зондировочные скважины, с помощью которых в полевых условиях тщательно изучают гранулометрический состав минеральных почв, признаки заболачивания (специфические новообразования, оглеение, оторфованность и др.), засоления, солонцеватости и

др., структуру и текстуру почв, ботанический состав, степень разложения торфяных почв, их мощность, глубины появления грунтовых вод, верховодки и др.

Категории сложности природных условий устанавливают следующим образом:

I категория. Районы с однородным почвенным покровом, почвенные комплексы занимают не более 15% площади, заболоченные и засоленные почвы занимают не более 5% площади (преимущественно степные районы).

II категория. Районы с однородным почвенным покровом, разнообразными почвообразующими породами, изменчивой растительностью и расчлененным рельефом; почвенные комплексы занимают до 30% территории, болота и заболоченные почвы занимают не более 20% площади (преимущественно лесостепные и лесные районы).

III категория. Районы с очень неоднородным почвенным покровом (почвенные комплексы занимают более 30% территории); распространением скальных, галечных и щебневатых почвогрунтов; заболоченные участки и засоленные земли занимают более 20% площади (пустыни, полупустыни, сухие степи, лесная зона, лесотундра, тундра, плавни и дельты).

Отклонение границ контуров на карте не должно превышать для резко выраженных границ на местности 2 мм, ясно выраженных — 4 мм, неясно выраженных — 10 мм.

При сложной структуре почвенного покрова допускается нанесение на карту двух- и трехчленных почвенных комбинаций с указанием процента подчиненных почв по следующей градации меньше 10; 10–25; 25–50%. Если почвенный покров представлен сложными структурами и они не поддаются выделению в заданном масштабе, то в ходе изысканий по согласованию с заказчиком возможен переход на более крупный масштаб съемки.

7.2.2. Почвенные шурфы, прикопки, скважины

При почвенно-мелиоративной и солевой съемках закладывают почвенные шурфы, прикопки и скважины (общее название — выработки).

Шурфы закладывают для изучения строения и особенностей почвенного профиля, характера почвообразующих и подстилающих по-

род, распределения влаги, плотности, легкорастворимых солей на глубину 2 м.

До указанной глубины шурфы проходят при отсутствии грунтовых вод, песков-плывунов или пород, не поддающихся воздействию кирки или лома.

Шурфы подробно описывают в почвенном журнале или карточке по установленной форме с нанесением мазков каждого генетического горизонта и литологического слоя.

Прикопки закладывают для уточнения границ почвенных контуров. Глубина их обычно не более 75 см, документация производится в почвенном журнале.

Скважины проходят вместо шурфов на обводненных почвах, при солевой съемке, съемках для составления картограмм солонцеватости, кислотности почв или вместо прикопок.

7.2.3. Обоснование почвенных контуров

Каждый почвенный контур, кроме повторяющихся мелких контуров размерами до 1 $см^2$ на карте должен быть обоснован шурфами или прикопками.

Контур со сложной структурой почвенного покрова должен быть обоснован выработками, заложенными на каждом компоненте почвенных комбинаций.

Количество шурфов, закладываемых при почвенной съемке, зависит от ее масштаба, сложности природных условий объекта. Среднее количество шурфов, закладываемых на каждый квадратный километр исследуемой территории, определяют в соответствии с табл. 7.2. В зависимости от сложности почвенного покрова дополнительно к каждому шурфу закладывается от 1 до 3 прикопок.

Таблица 7.2

Количество шурфов на 1 $км^2$ при разных масштабах съемки и категориях сложности природных условий

Масштаб съёмки	Категории сложности природных условий		
	I	II	III
1:200 000	0,08	0,11	0,15
1:100 000	0,20	0,25	0,33
1:50 000	0,75	0,9	1,2
1:25 000	1,5	2,0	2,5
1:10 000	3,0	5,6	6,7
1:5 000	8,0	12,0	15,0

Продолжение таблицы 7.2

Масштаб съёмки	Категории сложности природных условий		
	I	II	III
1:2 000	20,0	25,0	35,0

На минеральных заболоченных почвах с неоднородным строением верхней двухметровой толщи для расчета междренных расстояний, кроме шурфов, предусмотренных для выбранного масштаба почвенно-мелиоративной съемки, на каждые 1–3 га закладывают скважины глубиной 1,8–2,0 м.

На торфяных почвах выполняют проходку скважин по интервалам 25–50 см до минерального дна по поперечникам из расчета 1 скважина на 1–3 га в зависимости от сложности почвенного покрова.

В процессе бурения фиксируют глубину попадания на пни, сапропелевые отложения, угольные и другие прослойки.

Подробное описание ботанического состава, степени разложения и свойств торфа производится в 5% общего количества скважин.

Практически на стадии «Проекта», «Рабочей документации» и «Рабочего проекта» в зависимости от сложности природных условий принимают следующие масштабы почвенно-мелиоративных съемок (табл. 7.3).

Таблица 7.3

Масштабы почвенно-мелиоративных съемок в зависимости от категории сложности и стадии проектирования

Стадии проектирования	Категории сложности природных условий		
	I	II	III
Проект	1:10000	1:5000–1:10000	1:2000–1:5000
Рабочий проект	1:5000	1:5000	1:5000

7.2.4. Отбор образцов при почвенной съемке, объем лабораторных работ, виды анализов

При почвенной съемке образцы отбирают по генетическим горизонтам из их середины по всей передней стенке шурфа для камерального просмотра перед лабораторными анализами и хранением (сохранные образцы) в 20% общего числа шурфов. Ширина полосы отбора — около 10 см.

На торфяных почвах образцы отбираются из 5% общего количества зондировочных скважин из каждого 25 см слоя торфа в специальные банки, полиэтиленовые мешочки или другую тару, предохраняющую образец от высыхания.

На засоленных, солонцеватых, гипсоносных, окарбоначенных почвах образцы отбираются из каждого шурфа по генетическим горизонтам и литологическим слоям, в среднем по 6 образцов.

Анализы почв при почвенно-мелиоративной съемке делят на полные, служащие для генетической характеристики почв, их классификации и определения важнейших свойств, и массовые, служащие для обоснования состава и объемов способов мелиораций. Вес образца для полных анализов должен быть 600–700 г, массовых — 300–400 г.

Если для определения каких-либо свойств почв необходимы дополнительные анализы (микроэлементы, валовые анализы, подвижное железо и т.д.), то их выполнение должно быть обосновано в программе работ.

Количество шурфов, образцы из которых подлежат полным анализам, составляет:

- при больших площадях съемки (более 100 км^2) 5% общего числа шурфов, при малых площадях — 5–7%. На очень мелких объектах (площадь менее 10 км^2) количество и виды анализов должны быть обоснованы программой работ. При назначении анализов руководствуются следующими положениями:
- анализы должны быть увязаны с генезисом почв;
- каждая разновидность почв должна иметь аналитическую характеристику в объеме, достаточном для обоснования генетической классификации почв, их производственной и мелиоративной оценки;
- анализы образцов почв, грунтов и проб грунтовой воды из шурфов, совмещенных с гидрогеологическими выработками, назначают совместно почвоведы и гидрогеологи;
- количество и виды анализов по каждому шурфу определяют с учетом типовых особенностей и отличительных признаков различных почв, целей и задач проведенных изысканий.

В образцах, отобранных для массовых анализов, выполняют (табл. 7.4):

- в засоленных почвах — сокращенные или полные анализы водных вытяжек — 6 образцов из шурфа. Состав определений зависит от природных особенностей объекта, типа засоления и требований проектирования;
- в солонцеватых почвах — емкость поглощения, поглощенный натрий — 3–5 образцов; гипс, карбонаты, pH — 4 образца из шурфа;
- в гипсоносных почвах — содержание гипса — 6 образцов из шурфа;

- в кислых минеральных почвах — pH солевой вытяжки — 1 образец из пахотного горизонта.

Таблица 7.4

Примерный состав и количество анализов из одного шурфа глубиной 2 м

Наименование анализа	Объекты орошения		Объекты осушения	
	Почвы без признаков засоления и солонцеватости	Почвы с признаком засоления и солонцеватости	Минеральные почвы	Торфяные почвы
1	2	3	4	5
1. Гумус	2–3	2–3	2–3	2–3
2. Фосфор доступный	2	2	2	2
3. Калий подвижный	2	2	2	2
4. Углекислота карбонатная	4–5	4–5	4–5	–
5. Поглощенный кальций и магний	3	3–5	3	3
6. Емкость поглощения	3	3–5	3	3
7. Поглощенный натрий	–	3–5	–	–
8. Гипс	–	3–6	–	–
9. Водная вытяжка	5–6	5–6	–	–
10. Гранулометрический состав	5–6	5–6	5–6	–
11. Гидролитическая кислотность	–	–	3	3
12. Поглощенный водород и алюминий	–	–	3	–
13. Актуальная кислотность	6	6	6	6
14. Обменная кислотность	6	6	6	6
15. Ботанический состав торфа	–	–	–	6
16. Степень разложения	–	–	–	6
17. Зольность торфа	–	–	–	6
18. Плотность твердой фазы почв	6	6	6	6
19. Влажность устойчивого завядания или максимальная гигроскопичность	3–5	3–5	2–3	1–2
20. Устойчивость кротовых дрен в минеральных почвах по методу Зайдельмана	2	2	2	–
21. Коэффициент заболоченности почв по методу Зайдельмана и Оглезнева	2	2	2	–
22. Динамическая влагоемкость по методу Зайдельмана	Одно определение только для почв, заболоченных грунтовыми водами			

Для контроля массовых анализов в 10–15% от общего количества отобранных образцов выполняют анализ стандартной (т.е. полной, несокращенной) водной вытяжки.

Анализы на водорастворимые соли назначают после качественной проверки образцов на содержание хлоридов, сульфатов, нормальной соды и кальция по реакциям с хлористым серебром, хлористым барием, фенолфталеином и щавелево-кислым аммонием.

7.2.5. Полевая съемка

При полевом описании морфологии минеральных, в различной степени заболоченных почв наряду с изучением цветовых признаков оглеения, имеющих в суглинистых и глинистых почвах серовато-сизую, голубовато-сизую, а в песчаных — белесоватую, белесо-серую или голубовато-серую окраску, необходимо отметить характеристики новообразований — их форму, цвет, плотность, состав и другие признаки. Эти признаки, устойчиво сохраняющиеся независимо от погодных условий, тесно связаны с причинами избыточного увлажнении и степенью заболоченности почв.

Контуры почв выделяют только в полевых условиях на основе всестороннего изучения элементов ландшафта — почвенного и растительного покрова, геоморфологического строения территории, рельефа, характера подстилающих пород, геологических особенностей избыточно увлажненных массивов и др.

В процессе картирования необходимо избегать выделения почвенных комплексов, составляющие которых обладают различными мелиоративными особенностями, например, в Нечерноземной зоне комплекс заболоченных и незаболоченных почв или комплекс заболоченных мелкоземистых по всему профилю почв и почв, близко подстилаемых плотными породами, и т.д. В тех случаях, когда подобные комплексы не могут быть расчленены в заданном масштабе, а площадь территорий, образующих такие комплексы, столь значительна, что в этих условиях возможны затруднения при мелиоративном строительстве или проведении сельскохозяйственных работ, целесообразно перейти на более крупный масштаб съемки.

Если в этом случае невозможно расчленение структуры почвенного покрова на составляющие элементы, то на карте необходимо отразить распространение (в %) важных в производственном отношении почв, приуроченных к общему фону контура (например, глееватых почв по фону глубокооглеенных и т.д.).

Образцы минеральных и торфяных почв на обводненных территориях берут бурами (на торфяных — бурами Гиллера или Инсторфа; на минеральных — Деркульским, ПБ-44, АМ-16 и др.).

Образцы верхних горизонтов торфяных почв при почвенно-мелиоративном картировании до глубины 0,7 м отбирают через каждые 10–15 см, ниже — более редко с учетом стратиграфии торфяной залежи.

Состав анализов заболоченных почв существенно не отличается от принятых для незаболоченных. В качестве дополнительных анализов, имеющих преимущественно мелиоративное значение, необходимы определения коэффициента заболоченности гидроморфных почв, валового (общего) содержания Fe_2O_3 и CaO ($CaCO_3$) в почвах, обогащенных железом и кальцием, устойчивости кротовых дрен в минеральных почвах на глубине 30–40 и 60–70 см по методу Зайдельмана (см. 4.2.3). В поймах проводят массовый отбор образцов для составления картограмм устойчивости кротовых дрен.

Особое внимание уделяют характеристике гранулометрического состава (по методу Качинского) верхней 1,0–1,5-метровой толщи заболоченных почв, так как по сумме частиц < 0,01 мм в почвах элементарного состава и микроагрегатной структуры, используя специальные номограммы, определяют основные параметры дренажа.

Аналитическая характеристика торфяных почв предполагает микроскопическое определение ботанического состава и степени разложения торфа, его зольности, химического состава золы, содержания микроэлементов (меди, бора, цинка).

Обязательным является изучение химического состава грунтовых вод, в гумидной зоне — особенно содержания в них железа. Если на объекте обнаружены грунтовые воды с содержанием железа более 3 мг/л, на карте или на специальной картограмме показывают зоны распространения грунтовых вод с различной концентрацией Fe^{2+} (< 3; 3–6; 6–12; 12–25; 25–50; > 50 мг/л).

Минеральные и торфяные почвы в этих условиях обычно несут следы интенсивного ожелезнения в виде мощных рудяковых горизонтов, обильной и крупной железистой руды, плотного и сильно сцементированного ортзанда или обогащенных аморфной гидроокисью железа охристых торфяных почв (ожелезненные торфяные почвы). В почвах поверхностного заболачивания угроза закупорки дрен гидроокисью железа весьма незначительна или вообще отсу-

тствует. Поэтому анализ таких вод, даже из сильнозаболоченных почв с высоким содержанием сегрегированного железа в горизонтах А1 и А2 в виде ортштейнов обычно оказывается излишним.

В зависимости от степени обводнения при картографических исследованиях можно использовать различные выработки (разрезы, скважины) или их комбинации, например неглубокие разрезы до грунтовых вод, пройденные бурами различной конструкции ниже их уровня. В рыхлых отложениях следует стремиться, чтобы изучаемая с помощью разрезов или скважин толща составляла не менее 2,0 м, так как дрены, коллекторы и открытые каналы приурочены главным образом к этой глубине. Более глубокие горизонты изучают путем бурения со дна таких разрезов или буром Гиллера на глубину 5–6 м.

На минеральных почвах, кроме песчаных, углубление разрезов ниже грунтовых вод и верховодки удобно проводить с помощью прибалтийского бурового комплекта (см. рис. 3.1).

На минеральных почвах, приуроченных к однородным по гранулометрическому составу почвообразующим породам (покровным пермским, озерно-ледниковым суглинкам и глинам или флювиогляциальным и древнеаллювиальным пескам и супесям) выработки закладывают в кондиции масштаба съемки (табл. 7.2). При неоднородном характере почвообразующих пород, частой смене их гранулометрического состава — на моренных или на двучленных отложениях, в поймах и др. — наряду с необходимым числом почвенных разрезов в соответствии с выбранным масштабом почвенно-мелиоративной съемки часто целесообразно сгущать сеть зондировочных выработок, характеризующих смену гранулометрического состава. Такая сеть выработок может быть весьма густой и достигать соотношения одна выработка на 1–2 га; чаще всего это зондировочные скважины, выполняемые с помощью одного из буров рассмотренной выше конструкции (см. рис. 3.1; 3.2).

На торфяных почвах зондировку проводят буром Гиллера или буром Инсторфа. Зондировку ведут послойно через 25 или 50 см на всю глубину торфяной залежи до минерального дна по поперечникам, разбиваемым в натуре. Независимо от принятого масштаба почвенной съемки поперечники и пикеты располагают через 100 м. В процессе зондировки фиксируют глубины попадания на пни (древесину), сапропелевые отложения, угольные и водные прослойки и гранулометрический состав минерального дна болот.

Подробное послойное описание ботанического состава, степени разложения и свойств торфа проводят в пунктах, число которых соответствует числу основных и контрольных разрезов принятого масштаба.

После наступления устойчивых заморозков за исключением работ на болотах, не проходимых в теплый период года, почвенные и ботанико-культуртехнические изыскания прекращают.

Кроме того, для торфяных и минеральных почв в пунктах изучения водно-физических свойств в лабораторных условиях определяют плотность и влажность завядания. Плотность твердой фазы почв определяют на одинаковой глубине и в тех же образцах, что и плотность почвы. Влажность завядания устанавливают методом вегетационных миниатюр на глубину до 50–70 см.

При проведении почвенных изысканий на избыточно увлажненных массивах важно правильно установить причины заболачивания почв, так как последние в значительной мере определяют не только генезис почв, но и метод их мелиорации, целевую направленность мероприятий по устранению избыточного увлажнения. Более полно эта задача может быть решена в результате выполнения специальных почвенно-гидрогеологических изысканий. При этом следует иметь в виду, что почвовед, самостоятельно выполняя картографические работы на избыточно увлажненных массивах на основании исследования почвенного и растительного покрова, геоморфологии, материнских и подстилающих пород (на глубину до 2,5–3,0 м), может с большой степенью достоверности установить наиболее вероятные причины заболачивания минеральных и торфяных почв.

Группируя почвы по общности причин заболачивания, можно выделить участки массива, близкие по методам мелиорации, плодородию и свойствам, определяющим способы осушения. Такое объединение имеет важное прикладное значение, создает основу для выделения в пределах заболоченного массива отдельных мелиоративных районов.

Заболачивание почв может быть обусловлено влиянием пресных или засоленных грунтовых и напорных, склоновых или русловых вод, а также действием антропогенных, криогенных и других факторов. Их влияние может быть однофакторным, например, только пресные грунтовые воды, или комплексным — пресные грунтовые и склоновые воды и т.д.

При выполнении почвенно-мелиоративной съемки на минеральных почвах, отличающихся различной степенью выраженности признаков гидроморфизма, особого внимания заслуживает правильная оценка степени их заболоченности. Она должна быть построена на экологической основе и связывать степень гидроморфизма почв с устойчивостью растений к повышенному увлажнению с возможностью сельскохозяйственного использования таких почв в естественном (неосушенном) состоянии и с целесообразностью их осушения

При решении вопроса о возможности сельскохозяйственного использования минеральных оглеенных почв в естественном состоянии и целесообразности их осушения при различном использовании в условиях Центральной Нечерноземной зоны следует пользоваться рекомендациями таблиц (см. табл. 6.4–6.13).

Для почв высокой водопроницаемости рекомендации о целесообразности осушения еще не являются указаниями на необходимость строительства дренажа в зоне их распространения. Это особенно актуально для почв, находящихся на начальной стадии заболачивания. На таких массивах почвенно-мелиоративная оценка целесообразности осушения почв должна быть дополнена тщательным прогнозом вторичного режима грунтовых вод, обусловленного действием дренажа и крупной проводящей сети.

Такой прогноз должен быть разработан совместно почвоведом, гидрогеологом и гидротехником, выполняющими проектно-изыскательские работы на территории изучаемого массива.

В других районах, где рекомендации по дренажу минеральных почв разной степени заболоченности остаются еще неразработанными, необходимо выполнить специальные эколого-гидрологические исследования (см. 6.1), позволяющие обосновать решение этого ответственного вопроса для условий конкретного региона.

Всегда в ходе изысканий целесообразен сбор опросных данных у работников сельского хозяйства о сроках выполнения полевых работ на разных по степени оглеения почвах, а также получения сведении о проходимости машин, урожайности культур, осмотр состояния посевов, выявление вымокания, оценка современного использования почв и опыта мелиорации.

7.3. Культуртехнические и ботанические изыскания. Содержание ботанико-культуртехнических карт

Обязательным условием характеристики заболоченного массива является оценка его культуртехнического состояния. Культуртехнические изыскания должны выявить следующие свойства территории:

- *лес* — породный состав, густота на 1 га (округленно до сотен); диаметр в см (на высоте 1,3 м) — 12–15, 16–23, 24–32, 33 и т.д., средняя высота;
- *кустарник и мелколесье* — (до 11 см в диаметре) — густота в процентах по группам прективного покрытия (%): до 30, 31–60 и более 60; высота в метрах (до 2,0 и более); ивовый кустарник выделяют отдельно;
- *пни па поверхности* — преобладающая порода, густота на 1 га (округленно до сотен); диаметр (до 15, 16–23, 24–32, 33 см и более); давность рубки (до 5 лет и более);
- *пни в торфяной залежи* — глубина залегания в метрах (0,0–0,4 и 0,4–1,2), число на 1 га (округленно до 50);
- *кочкарник* — высота кочек (до 25, 26–50, более 50 см); тип кочек (землистые, растительные и др.); покрытие до 30% и более;
- *засоренность камнями* — количество камней в $м^3$/га по группам до 50; 50–100; более 100; диаметр отдельных камней в метрах по группам: до 0,1; 0,1–0,3; 0,3–0,6; 0,6–1,0; более 1,0; характер залегания (на поверхности, в полупогребенном состоянии, полностью в земле);
- *раскорчеванная и неубранная древесина* — характер залегания (отдельные деревья, валы, перемешенные с землей); объем древесины в $м^3$/га с точностью до 50; срок корчевки (до пяти лет и более); площадь, с которой сдвинут гумусовый слой при образовании вала, и общую площадь раскорчевки. Ямы, карьеры, горелые торфяники — глубина, м; объем, $м^3$.

Культуртехнические свойства территории определяют на площадках размером 10×10, 10×20 м для учета леса и 10×10 или 20×5 м для учета объема камней и числа пней.

Для оценки наличия и количества погребенных деревьев, камней и пней торфяную залежь зондируют на полосе длиной 50 (25) м с двумя рядами зондировочных точек, расположенных на расстоянии 1 м.

Площадки по учету погребенной древесины закладывают в тех случаях, когда необходимость этого мероприятия установлена территориальной почвенно-мелиоративной съемкой.

Число описаний и пробных укосов растительности при ботанических изысканиях, а также площадок по учету культуртехнических свойств принимают по табл. 7.5.

Таблица 7.5

Среднее количество описаний растительности и учетных площадок при ботанико-культуртехнических съемках на 1 км^2 для разных масштабов в зависимости от категории сложности

Масштаб съемки	Категории сложности природных условий		
	I	II	III
1:100 000	1	2	3
1:50 000	2	3	5
1:25 000	4	5	8
1:10 000	10	14	20
1:5 000	20	28	40

Результаты ботанических и культуртехнических изысканий оформляют в виде специальной *ботанико-культуртехнической*

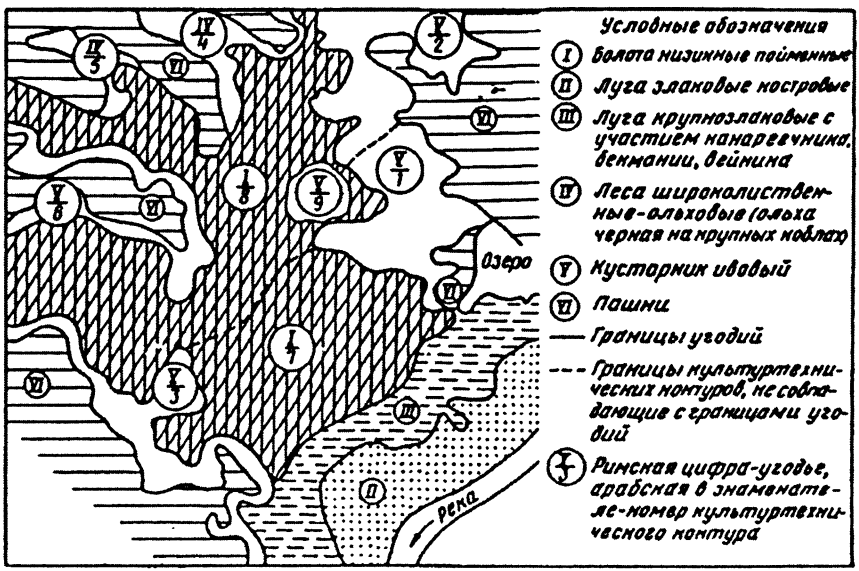


Рис. 7.1. **Ботанико-культуртехническая карта (составлена по методике института «Мосгипроводхоз»)**

карты. На эту карту наносят (рис. 7.1) угодья, контуры культуртехнических особенностей территории, а также луга, требующие поверхностного улучшения — боронования, известкования, подсева трав. На карте показывают контуры распространения сорняков. Луга, подлежащие коренной переделке, на карте не показывают. Легенду ботанико-культуртехнической карты оформляют в виде поконтурной ведомости (табл. 7.6), в которую вносят исчерпывающие данные о культуртехнических особенностях территории. Угодья и растительность показывают цветом непосредственно на карте.

Таблица 7.6

Ведомость культуртехнических условий (приложение к ботанико-культуртехнической карте)

Номер контура	Древесно-кустарниковая растительность						Кочки	
	порода	высота, м	диаметр, см	число на 1 га	покрытие, %	тип	высота, см	покрытие, %
4, 5	Ольха на коблах, береза	15–18 12–15	24–31 12–15	200 100				
2, 3	Ива	до 2	до 7	—	более 60%	растительные	до 16	30–60
1, 9	Ива, береза	7–11	до 11	—	30–60	—//—	до 25	более 60

Ботанико-культуртехническая съемка выполняется в масштабе почвенно-мелиоративной съемки, или на масштаб мельче или крупнее в зависимости от категории сложности природных условий, целей и задач проектирования.

Категории сложности природных условий устанавливают, исходя из следующих характеристик территории объекта:

I категория — суходольные и пойменные луга с малоценным в кормовом отношении травостоем, залежи, легкопроходимые болота (чистые), территории с редкими кустами, одиночными деревьями, мелкими рощами или слабой каменистостью на поверхности и в 40 см слое почвы (до 10 $м^3$/га), пашня с легкими минеральными почвами. Количество геоботанических и культуртехнических контуров на 1 $дм^2$ в масштабе съемки не более 5.

II категория — а) леса, густые кустарники, лесные и кустарниковые болота с однородными насаждениями, состоящими из 1–3 пород, при различии толщины стволов до 15 см;

б) территория с поверхностной или полускрытой каменистостью свыше 10 (до 50 м^3/га) или количеством геоботанических и культуртехнических контуров на 1 дм^2 карты в масштабе специальной съемки свыше 5 (до 15);

в) долголетние культурные пастбища, культурные сенокосы.

III категория — а) леса со сложными насаждениями, состоящими из четырех и более пород — или с однообразными насаждениями при различии толщины стволов свыше 15 см;

б) пойменные луга с ценными в кормовом отношении травостоями;

в) территории с поверхностной или полускрытой каменистостью свыше 50 м^3/га или наличием геоботанических или культуртехнических контуров на 1 дм^2 карты в масштабе специальной съемки свыше 15;

г) труднопроходимые территории: болота с частыми кочками высотой более 30 см; с наличием на поверхности более 30 см воды; зыбуны с плавучей дерниной; топи, лишенные дернины; сплошные заросли кустарников, тростника и камыша; торфяные гари и старые торфоразработки с перемычками шириной до 1,5 м; сыпучие пески, овраги; пашня с тяжелыми и торфяными почвами при выполнении работ в весеннюю и осеннюю распутицу.

Ботанико-культуртехническая съемка включает выявление и нанесение на топографическую основу контуров угодий, заложение и описание площадок, взятие укосов для определения урожайности, определение пнистости торфяных почв, учет проявлений хозяйственной деятельности человека и физико-геологических процессов.

Среднее количество описаний и учетных площадок на 1 км^2 определяется в соответствии с табл. 7.5. Размер площадки 10×10 м.

Количество укосных площадок определяется масштабом съемки и хозяйственной значимостью луговой растительности. В среднем количество укосов для масштабов съемки 1:5000 и 1:10000 должно составлять 1 укос на 10 га; для масштабов 1:25000—1:50000 — 1 укос на 25 га луговой площади (табл. 7.7).

Количество учетных площадок на 1 км^2 для определения поверхностного, полускрытого и скрытого камня в пределах 0–40 см устанавливается, исходя из масштаба съемки и категории сложности природных условий (табл. 7.8). Размер площадки — 2×2 м.

Таблица 7.7

Число ботанических описаний, пробных укосов растительности и площадок по учету культуртехнических условий

Масштаб съемки и площади контуров*	Ботанические описания	Площадки оценки культуртехнических условий
М 1:10 000		
Менее 1 га	Не проводят	**
1–5 га	1	1
5–10 га	2	1
Более 10 га на каждые 10 га дополнительно	1	1
М 1:5 000		
Менее 0,25 га	Не проводят	**
0,25–1 га	1	1
1–5 га	2	1
Более 5 га на каждые 5 га дополнительно	1	1

* Ботанические описания составляют только для таких луговых ценозов, состав которых может быть улучшен с помощью поверхностных мероприятий.
** Культуртехническая характеристика контуров меньше указанной площади приводится только для резко отличающихся условий (например, выходы валунно-каменистого моренного материала среди озерно-ледниковой равнины, контуры леса по пашне и т.д.).

Таблица 7.8

Количество учетных площадок для определения каменистости почв в зависимости от категории сложности природных условий и масштаба съемок

Масштаб съемки	Категории сложности природных условий		
	I	II	III
1:100 000	0,38	0,5	0,63
1:50 000	0,75	1,0	1,25
1:25 000	1,50	2,0	2,5
1:10 000	3,0	4,0	5
1:5 000	6,0	8,0	10

Примечание: 1. При очень сильной каменистости почв допускается увеличение количества площадок в 2 раза.
2. Учет каменистости почв глубже 0,4 м производится в шурфах при почвенной съемке. При этом заложение шурфов и учетных площадок должно быть совмещено.

Количество учетных площадок для определения пнистости торфяных почв принимается для масштаба 1:100000 — 0,5, масштаба 1:50000 — 1, масштаба 1:25000 — 2, масштаба 1:10000 — 1:5000 — 4 площадки на 1 км^2. Размер площадки 1×30 м. Количество точек 60. Бурение через 1 м по готовой сетке.

Для обоснования проектов составляется ботанико-культуртехническая карта или карта растительности и культуртехнических свойств соответствующего масштаба, отчет или глава в отчет о почвенно-мелиоративных изысканиях.

7.3.1. Культуртехнические изыскания с использованием материалов аэрофотосъемки по методу А.К. Монахова

Аэрофотосъемка уточняет и облегчает выполнение работ по составлению культуртехнической карты. Для этой цели используют контактные отпечатки размером 18×18 см, обычно в М 1:10000 (М 1:8000–1:12500), а также для общего обзора территории репродукцию накидного монтажа. Работа состоит из трех периодов: камерального дешифрирования (камеральный предполевой этап), полевого и камерального завершающего. Содержание этих работ и диагностическая оценка фотоснимков изложены ниже в соответствии с методическими указаниями Северного НИИ гидротехники и мелиорации (СевНИИГИМ), составленными А.К. Монаховым (1974).

Задачи камерального предполевого периода заключаются в дешифровании сельскохозяйственных угодий и культуртехнических объектов, нанесении границ контуров, рабочих маршрутов и точек полевых наблюдений.

Дешифрирование проводят с помощью зеркально-линзового стереоскопа (ЗЛС) н увеличительных приборов, например комплекта НДЛ-2, включающего лупы с двукратным, четырехкратным и десятикратным увеличением.

С помощью стереоскопа можно получить представление о геоморфологическом строении территории, высоте леса и кустарника и микрорельефе. Лупы служат для дешифрования мелких объектов — крон различных древесных пород, кустарника и подроста, поверхностных и полускрытых камней, закочкаренности и др.

Еловый лес на аэроснимках имеет общий темно-серый тон полога, состоящего из мелких светлых, часто неравномерно расположенных

крон с ярко выраженными черными межкроньями. Для крон ели характерна конусовидная форма. Поверхность земли просматривается плохо.

Смешанный лес характеризуется пестротой фотоизображения полога, его разновысотностью и неравномерностью распределения крон. На заболоченных землях или в молодняках дешифрирование примеси лиственных пород к хвойным или хвойных пород к лиственным бывает затруднительно. Лучше различаются между собой лиственные породы и ель. Раздельное дешифрирование лиственных пород и сосны наиболее успешно проводят на спектрозональных аэроснимках, где хвойные породы изображаются синим цветом, а лиственные — оранжевым.

На аэроснимках *гарь* изображается участками светло-серого тона с неровными границами, иногда с беспорядочной светлой штрихова-тостью (поваленные деревья) или белыми кронами с неясно очерченными серыми тенями (сухостой).

Контуры *вырубок,* расположенных обычно среди леса, имеют ярко-светлый, несколько неоднородный тон фотоизображения и прямолинейные границы. Фотоизображению вырубок местами свойствен мелкозернистый рисунок, обусловленный подростом. Пни на аэроснимках М 1:10000 не отображаются.

Контуры *раскорчевки* на аэроснимках имеют ярко-светлый однородный тон и часто прямолинейные границы.

Растительность *верхового болота* представлена сфагновыми мхами, болотными кустарниками (багульник, подбел, морошка) и пушицей, встречается также низкорослая редкая сосна. На аэроснимках верховые болота представляют собой участки светло-серого (в обводненных частях темного) тона, часто с неясными границами. Наличие на болоте сосны обусловливает редкую неравномерную зернистость фотоизображения.

Для *переходного болота* характерна древесная растительность, представленная березой и сосной, иногда с примесью ели, под пологом леса развиваются багульник, голубика, клюква и сфагновые мхи. Переходные болота приурочены к краевым участкам верховых болот или к пониженным участкам среди леса. Общий тон фотоизображения их светлее, чем у древесных насаждений, произрастающих на минеральных землях, а полог более разрежен. Характерна короткая темная штриховатость, обусловленная тенями, падающими от деревьев.

Для *низинного болота* характерна древесная растительность из ели и березы с травяным покровом, кустарниковая или травяная рас-

тительность (тростниковая, осоковая). Низинные болота приурочены, как правило, к пониженным участкам. Общий тон фотоизображения низинных лесных болот часто темнее, чем у лесных насаждений на минеральных землях. Кустарниковые (ивовые) болота характеризуются слитным мелкозернистым рисунком темно-серого тона. Травяные болота имеют ровный темно-серый тон, в разгаре вегетации — светло-серый.

Среди *болот пойменного* типа встречаются лесные (черноольховые, иногда с примесью березы, ели) и травяные болота. Пойменные болота дешифрируются под стереоскопом по приуроченности к поймам рек и ручьев. Общий тон их фотоизображения чаще всего темно-серый и темный.

Осушительные канавы, заросшие кустарником и древесной растительностью, отчетливо заметны на аэроснимках в виде узких прямолинейных полос с зернистым рисунком.

Закочкаренные участки могут быть обнаружены с помощью лупы, благодаря слабой и мелкой зернистости фотоизображения, обусловленного группами близко расположенных кочек.

Местонахождения *поверхностных* и *полускрытых камней* на пашне обнаруживается по аэроснимку, если вокруг них имеются огрехи, хорошо заметные в виде темной штриховатости. На аэроснимках лугов заметны преимущественно крупные поверхностные камни (в виде ярко-светлых точек) С помощью лупы можно обнаружить и кучи камней, имеющие вид светлых россыпей.

Бугры и ямы могут дешифрироваться по различию в тоне их фотоизображения с окружающей поверхностью. Для более точного дешифрирования необходим стереоскоп.

Основными задачами полевого периода являются: проверка границ и названий контуров, проводимая в процессе картирования по аэроснимкам; определение технических характеристик выделенных контуров в соответствии с действующими нормативами.

На аэроснимках должны быть отображены: густота и крупность леса, каменистость, закочкаренность, изрытость и другие технические характеристики по существующим в производстве градациям.

В процессе работы исполнитель продвигается по намеченным маршрутам, ориентируясь по аэроснимкам.

После отработки аэроснимка необходимо свести контуры со всеми соседними аэроснимками. В результате полевых работ составля-

ют полевую культуртехническую карту на аэроснимках и экспликацию к ней по существующей форме.

В камеральный завершающий период обрабатывают данные, полученные во время полевых изысканий, и составляют авторский экземпляр карты.

После окончательного уточнения результатов картирования по аэроснимкам границы контуров переносят на специально подготовленную топооснову.

Более точным является оптико-механическое перенесение границ при помощи простых оптических приборов — зеркально-призменного рисовального прибора, стереоскопа-пантографа СП-2 и др. При этом аэроснимок устанавливают так, что изображение его, приведенное путем регулировки прибора к заданному масштабу, совмещают с находящейся над прибором топоосновой. Наблюдая ситуацию топоосновы и отраженное на ней изображение аэроснимка, переносят контуры с последнего на топооснову.

В процессе камерального предполевого дешифрирования выделяют видимые на аэроснимках типы сельскохозяйственных угодий и культуртехнических объектов — пашню, залежи, луга чистые, закустаренные до 30% и на 30–60%, участки кустарника и мелколесья с различным процентом покрытия, участки леса с различной густотой и крупностью древостоя и т.д.

Границы контуров на аэроснимках проводят мягким карандашом, неясные и сомнительные границы — пунктиром. Рабочие маршруты намечают с учетом посещения всех типов выделенных контуров.

При предварительной камеральной обработке аэрофотоснимка руководствуются дешифровочными признаками — тоном, цветом и рисунком фотоизображения, формой, размерами и тенью объектов.

Тон фотоизображения (на черно-белых аэроснимках) определяется главным образом структурой, влажностью и спектральной яркостью поверхности, а также техническими условиями аэрофотографирования. Тон фотоизображения объектов местности, например пашни, в зависимости от природных условий аэрофотосъемки может меняться от темного до светлого.

Цвет фотоизображения наблюдается на цветных и спектрозональных аэроснимках. На цветных аэроснимках объекты передаются цветом, близким к натуре; на спектрозональных аэроснимках — условным цветом.

Рисунок фотоизображения у многих объектов при аэроснимках постоянный, благодаря чему они точно дешифрируются, например зернистый рисунок изображения древесного полога.

Форма объекта, изображенного на аэроснимке, подобна форме его плановой проекции. По форме дешифрируют преимущественно мелкие объекты, искусственные сооружения и участки земной поверхности со следами деятельности человека (пашни, вырубки и т.д.).

Размеры объекта на аэроснимке определяют масштабом аэрофотосъемки и имеют значение главным образом при дешифрировании мелких объектов.

Для более точного определения размеров мелких объектов по аэроснимку используют лупы.

Тени объектов на аэроснимке подразделяют на собственные и падающие. Собственные тени образуются на самих объектах и передают степень выпуклости изображения. Так, вследствие различного характера перехода от освещенной части кроны к затененной крона березы на аэроснимке выглядит более выпуклой, чем крона ели. Падающие тени помогают опознавать объекты на аэроснимке, так как передают их форму. Однако тени, падающие на другие объекты, маскируют фотоизображение последних и тем самым затрудняют дешифрирование.

При дешифровании культуртехнических объектов целесообразно руководствоваться следующим.

Характерным признаком *пашни* является прямолинейность границ. Тон фотоизображения пашни может быть светлым (участки, непокрытые растительностью), серым (участки с вегетирующей растительностью), темным (увлажненные участки). Пашня на аэроснимках может иметь однородный тон или в той или иной степени выраженный рисунок. Часто на пашне заметны борозды от обработки почвы, а также межи участков, занятых различными сельскохозяйственными культурами.

Дешифрирование *залежей* может быть затруднено в связи с тем, что по тону фотоизображения они сходны с пашней, а также с лугами, от которых отличаются более правильной формой контуров. Залежи часто приурочены к краевым участкам распаханных массивов, имеющим значительные уклоны. Многие залежи расположены среди леса или на границе с ним.

Для фотоизображения *лугов* характерен однородный тон, изменяющийся от серого до темно-серого в зависимости от степени увлаж-

нения участка. Луга, сфотографированные в период сенокоса, обычно светло-серого тона. На аэроснимках лугов после сенокошения заметны стога сена в виде мелких светлых объектов, имеющих округлые тени. Пойменные луга приурочены к поймам рек, хорошо выделяющимся под стереоскопом.

Фотоизображению *кустарника* и *подроста лиственных пород* свойствен серый тон и слитный полог. Мелкие светло-серые кроны, образующие полог, лучше всего наблюдаются с помощью лупы. Фотоизображение елового подроста имеет отчетливый мелкозернистый рисунок, обусловленный сочетанием мелких светлых крон с черными промежутками между ними.

На аэроснимках для *мелколесья* характерны следующие признаки: мелкие, примерно одинаковые по величине кроны расположены густо, почти сливаясь, полог ровный. Под лупой кроны отчетливо отделяются друг от друга.

Участки, занятые *лесом,* дешифрируют по зернистому рисунку, создаваемому светлыми кронами и темными межкроньями. По фотоизображению древесного полога можно судить о густоте и крупности леса: чем он крупнее, тем больше кроны и межкронья.

Лиственный лес (из березы, осины, ольхи) характеризуется общим серым тоном полога, состоящего из светло-серых крон, расположенных равномерно или куртинно. Кроны чаще всего яйцевидные, параболоидные, полушаровидные и шаровидные, у осины — светлее, чем у березы. Поверхность земли под стереоскопом просматривается слабо.

Сосновый лес на аэроснимках характеризуется общим серым тоном относительно ровного по высоте полога, состоящего из примерно одинаковых по размеру равномерно расположенных крон, которые под стереоскопом кажутся висящими в воздухе. Кроны сосны имеют параболоидную, яйцевидную сфероидную или полушаровидную форму. Поверхность земли просматривается хорошо.

7.4. Состав работ по изучению водно-физических свойств на объектах мелиорации

Составной частью почвенно-мелиоративных изысканий являются работы по изучению водно-физических свойств почв. Их выполняют в полном объеме или ограничивают получением наиболее важных

характеристик для расчета дренажных систем, например фильтрации, водоотдачи почв и др.

Полный комплекс исследований водно-физических свойств почв при выполнении изысканий, связанных с обоснованием мелиоративного проекта, предусматривает определение: динамической влагоемкости (при залегании уровня грунтовых вод на глубине до 1,5 м) или предельной полевой влагоемкости (при более глубоком их положении); плотности почв и плотности их твердой фазы; пористости; водоотдачи; скорости впитывания (при разных способах полива); коэффициента фильтрации; влажности устойчивого завядания.

Знание этих свойств [1] необходимо для расчета основных параметров дренажа, уточнения режима осушения, двустороннего регулирования водного режима почв, установления критического уровня грунтовых вод на засоленных массивах, решения иных вопросов мелиоративною проектирования.

Пункты по изучению водно-физических свойств или в случае необходимости только по определению фильтрационных и других свойств приурочивают к каждому мелиоративному району, то есть территории, образованной почвами на однородных по генезису и составу почвообразующих породах с тождественными причинами заболачивания. Если мелиоративный район образован несколькими почвенными разновидностями, то на каждой из них изучают водно-физические (или фильтрационные) свойства.

Точки по изучению водно-физических свойств выбирают после завершения почвенной съемки. Если полевые работы выполняют в сжатые сроки, а у исполнителей в процессе работы складывается достаточно четкое представление о распространении на объекте основных почвенных разновидностей, изучение водно-физических свойств может быть выполнено параллельно с полевыми картографическими работами. Состав и объем работ по изучению водно-физических свойств по каждому объекту перед началом полевых изысканий уточняют специально. Они обусловлены в значительной мере методами и способами мелиорации, применяемыми для борьбы с заболачиванием. Таким образом, правильная диагностика причин заболачивания в процессе территориальных изысканий определяет

[1] В список параметров, подлежащих изучению при мелиоративных изысканиях в зоне избыточного увлажнения, не включено прямое определение высоты капиллярного поднятия в водонасыщенных почвах.

правильную методику и состав работ по изучению водно-физических свойств. Так, на тяжелых минеральных почвах, где причиной заболачивания является застой поверхностных вод, нецелесообразно определять динамическую влагоемкость. В этом случае определяют предельную полевую влагоемкость, скорость впитывания, коэффициенты фильтрации и водоотдачи, общую пористость.

При изысканиях с узким специальным заданием комплекс исследований водно-физических свойств может быть сведен к небольшому числу определений, например, оценке только фильтрационных свойств почв и т.п.

На сложных объектах допустимо увеличение отдельных определений. Кроме точек по изучению водно-физических свойств, следует предусматривать обязательные определения коэффициента фильтрации методом восстановления уровня воды в скважине, выполняемые в период высокого стояния грунтовых вод или верховодки.

Образцы почв, взятые из разрезов в точках определения водно-физических свойств, должны получить исчерпывающую для проектирования химическую, физико-химическую, агрохимическую и физическую аналитические характеристики.

Количество точек для изучения водно-физических свойств почв зависит от сложности почвенного покрова и литолого-гидрогеологических условий массива. Оно должно быть достаточным для обоснования расчетных характеристик и необходимых мероприятий.

Среднее количество точек по изучению водно-физических свойств может быть определено, исходя из масштаба почвенной съемки, категории сложности природных условий, целей и задач проектирования (табл. 7.9). При почвенно-мелиоративных съемках масштаба 1:5000 и крупнее количество точек по определению водно-физических свойств почв устанавливают по сложности почвенного покрова и цели проводимых работ.

На сложных объектах, а также в зависимости от конкретных целей и требований проектирования допускается увеличение числа определений отдельных физических свойств почв.

Увеличение числа определений обосновывают специальным расчетом в программе работ.

При наличии материалов исследований физических свойств почв прежних лет, количество полевых опытов должно быть сокращено

или эти исследования не выполняют. Собранные материалы обрабатывают и включают в отчет.

Таблица 7.9

Количество точек по изучению водно-физических свойств почв в зависимости от масштаба и площади почвенно-мелиоративной съемки, категории сложности природных условий

Масштаб съемки	Площадь съемки, км^2	Категории сложности природных условий		
		Площадь на одну точку, км^2		
		I	II	III
1:200 000	любая	1600	1000	500
1:100 000	> 1600	600	500	400
	1600–1000	500	400	300
	1000–400	300	150	100
1:50 000	> 1000	200	170	140
	1000–500	150	120	100
	500–100	120	100	50
1:25 000	> 500	60	60	40
	500–200	50	40	30
	200–100	40	30	20
	100–25	30	20	15
1:10 000	> 100	20	18	16
	100–50	15	13	11
	50–25	10	8	6
	25–5	8	4	2

Для каждого пункта определения водно-физических свойств устанавливают полную аналитическую характеристику почв, грунтов и грунтовых вод.

Водно-физические свойства изучают после прекращения весенних и до начала устойчивых заморозков.

7.5. Районирование почв в мелиоративных целях

Почвенно-мелиоративные карты синтезируют сумму данных о почвах как объекте мелиорации. Они обобщают сведения, полученные в процессе почвенно-мелиоративной съемки, изучения водно-физических, физико-механических и других свойств почв, оценки гидрогеоло-

гических, геоморфологических, гидрохимических и иных условий. Именно поэтому они носят комплексный характер и отражают результаты изысканий в наиболее лаконичной и конкретной форме.

Почвенно-мелиоративные карты отражают условия, в которых будут осуществляться мелиоративные мероприятия, содержат сведения об их важнейших особенностях, необходимых для выбора целесообразных инженерных решений, но в них отсутствуют конкретные и завершенные рекомендации по способам мелиорации.

Вместе с тем сведения, содержащиеся в легенде и непосредственно на почвенно-мелиоративной карте, являются определяющими для технико-экономического обоснования конкретных проектных решений.

Большое значение в решении этой задачи принадлежит районированию почв мелиорируемой территории.

Центральным вопросом разработки почвенно-мелиоративных карт для обоснования проектов мелиорации всех зон является районирование территории. В основу районирования положена дифференциация массива мелиорации на отдельные почвенно-мелиоративные районы. Учитывая задачи мелиорации, *почвенно-мелиоративным районом* следует называть такую территорию, которая характеризуется общностью генезиса и состава почв, почвообразующих пород, причин заболачивания, засоления почв или других неблагоприятных факторов, на изменение которых направлены мелиоративные мероприятия (например, на устранение заболоченности, солонцеватости почв, их каменистости, слитости и др.).

Районирование почв в мелиоративных целях позволяет систематизировать сведения об их свойствах и режимах в связи с решением прикладных задач, интерпретировать проектные решения на крупные территории, почвы которых близки по мелиоративным особенностям, глубже понять свойства почв и особенности ландшафта как объекта мелиорации. Независимо от характера изучаемой территории мелиоративное районирование почв должно быт основано на анализе:

1) причин заболачивания, засоления, других факторов, определяющих возникновение негативных особенностей почв — для выбора метода их мелиорации;
2) степени заболоченности и засоления почв для установления целесообразности их осушения, рассоления, рассолонцевания и др.;

3) физико-механических, гидрофизических, химических и других свойств почв, грунтов и грунтовых вод необходимых для выбора и обоснования способа мелиорации почв;
4) плодородия мелиорируемых почв для определения очередности мелиорации, оценке ее эффективности, а также для разработки комплекса мероприятий по повышению продуктивности мелиорируемых территорий;
5) прогноза изменений свойств и режимов почв на мелиорируемой территории и оценке влияния мелиорации на ландшафт в целом.

Эти принципиальные вопросы отражают задачи, стоящие перед почвенно-мелиоративными изысканиями и исследованиями, выполняемыми для обоснования мелиоративных проектов. В любом случае мелиоративное районирование почв, впрочем, как и любое районирование природных условий, связанное с решением прикладных задач, должно быть основано на анализе факторов, присущих почвенному покрову как естественно-историческому образованию и имеющих вместе с тем ведущее мелиоративное значение. Рассматривая проблему районирования почв, в связи с их мелиорацией, необходимо подчеркнуть тесную связь их генезиса и состава с почвообразующими породами, причинами заболачивания и засоления.

Объединяя почвы по общности причин заболачивания и засоления, можно в известной мере интегрировать и оценку плодородия отдельных разновидностей. Так, на водоразделах лесной зоны формирование многих почв, заболоченных поверхностными водами, происходит в условиях застойно-промывного режима. Это обстоятельство, а также сочетание подзоло- и глееобразования и кислый характер большинства материнских пород — основная причина низкого плодородия этих почв. Осушение лишь незначительно увеличивает (или не изменяет) их плодородие, и только система агротехнических мероприятий, предусматривающая внесение высоких доз органических и минеральных удобрений, способна обеспечить урожаи, оправдывающие затраты на мелиорацию. Напротив, в зоне близкого залегания жестких грунтовых вод минеральные гидроморфные почвы нередко отличаются более высоким плодородием. В осушенном состоянии они при сравнительно небольших затратах дают значительный хозяйственный эффект. Но этот же фактор имеет и важнейшее прикладное значение, поскольку причины заболачивания почв определяют принцип (метод) их осушения, целевую направ-

ленность мероприятий по ликвидации избыточной увлажненности. Так, осушительные мелиорации при заболачивании почв грунтовыми водами направлены на понижение их уровня, при заболачивании атмосферными и склоновым водами — на ускорение поверхностного и внутрипочвенного стока и т.д.

Причины заболачивания и засоления почв тесно связаны с генезисом и составом почвообразующих пород.

Важнейшее влияние на свойства почв оказывают почвообразующие породы, их генезис, гранулометрический, минералогический и химический состав. Почвы наследуют от почвообразующей породы свойства, определяющие водопроницаемость, водоотдачу, плотность сложения и др.

Свойства почв, унаследованные от почвообразующих пород, в значительной мере определяют выбор способа их мелиорации. Причины заболачивания, засоления и почвообразующие породы являются ведущими генетическими факторами. Одновременно они обусловливают конструкцию дренажа и общий комплекс конкретных мелиоративных мероприятий по улучшению свойств и режима почв. Поэтому дифференциация территории на самостоятельные почвенно-мелиоративные районы строится на основе выделения общности почв, которая формируется на одних и тех же почвообразующих породах под влиянием однозначных причин заболачивания и засоления. Почвенно-мелиоративное районирование, выполненное на такой основе, позволяет обобщить и систематизировать сведения об условиях их формирования и мелиорации. Именно поэтому оно определяет возможность построения легенд крупномасштабных почвенно-мелиоративных карт и разработки всесторонних рекомендаций по мелиорации почв.

Учитывая относительно ограниченную площадь почвенно-мелиоративного района, следует признать, что каждый из них характеризуется едиными климатическими условиями, близким рельефом, тождественными по составу и химическим свойствам почвам и почвообразующим породам.

Мелиоративное районирование почв позволяет обобщить и систематизировать сведения об условиях их формирования и мелиорации. Именно поэтому оно создает основу для построения легенд крупномасштабных почвенно-мелиоративных карт.

7.6. Крупномасштабные почвенно-мелиоративные карты

В настоящее время известно несколько типов почвенно-мелиоративных карт, применяемых в мелиоративной практике зоны избыточного увлажнения. Ниже рассмотрены два типа таких карт — мелиоративная почвенно-литологическая (первый форзац) и комплексная почвенно-мелиоративная и инженерно-геологическая (второй форзац), рекомендуемые для обоснования проектов мелиорации почв [Зайдельман, 1969]. В основе они являются комплексными и дополняются в отдельных случаях специальными картограммами pH, содержания P_2O_5, K_2O, устойчивости кротовых дрен и др. Такие карты отражают сумму почвенно-мелиоративных и инженерно-геологических данных, необходимых для проектирования мелиоративной сети и работ по сельскохозяйственному освоению территории. Первоначальным документом для составления таких карт является полевая почвенная карта, выполненная на планово-высотной топографической основе. При однородном почвенном покрове, отсутствии сложной комплексности карты составляют в масштабе генерального плана мелиоративного проекта. Если структура почвенного покрова неоднородная, комплексная, почвенно-мелиоративная карта по масштабу должна соответствовать рабочим чертежам.

Легенда карт строится на основе рассмотренных выше принципов мелиоративного районирования почв.

Мелиоративная почвенно-литологическая карта синтезирует данные изысканий, полученные на простых по природным условиям объектах, то есть на территориях, приуроченных к тяжелым и плохо водопроницаемым породам, с заболачиванием почв поверхностными, преимущественно намывными склоновыми или атмосферными, водами.

На таких массивах задача изысканий ограничивается картированием почвенного покрова, определением степени заболоченности и плодородия почв, а также изучением физико-механических, водно-физических и геотехнических свойств почв и грунтов, как правило, на глубину 3 м. Избыточное увлажнение почв объекта обусловлено поверхностными, главным образом намывными склоновыми водами.

Дифференциацию почв на мелиоративные районы в этом случае проводят главным образом по почвообразующим породам (табл. 7.10). Почвы района в свою очередь в легенде мелиоративной почвенно-литологической карты объединяют в группы по степени заболоченности, отражающие целесообразность их осушения при различном сельскохозяйственном использовании. Число почвенно-мелиоративных районов на этой карте обычно невелико. Нередко в таких простых условиях, особенно на небольших по площади массивах, можно выделить лишь один район. В этом случае на карте показывают только мелиоративные группы почв, отличающиеся по степени заболоченности.

Комплексная почвенно-мелиоративная и инженерно-геологическая карта отражает почвенно-мелиоративные и инженерно-гидрологические условия мелиорации территорий со сложными гидрогеологическими и литологическими условиями. Как правило, заболачивание почв на таких объектах связано с влиянием грунтовых, напорных, намывных склоновых вод и других гидрологических факторов. Почвы таких массивов часто приурочены к различным геоморфологическим элементам и разным типам рельефа. Они могут формироваться на разных по происхождению и составу почвообразующих породах. Поэтому водно-физические, физико-механические и иные свойства почв и грунтов на таких объектах обычно весьма неоднозначны.

В этих условиях, помимо вопросов, изучаемых на относительно простых объектах, в процессе комплексных почвенно-мелиоративных и инженерно-гидрологических изысканий должны быть установлены причины заболачивания почв и границы участков с одинаковым стоянием грунтовых вод, направление и глубины потока грунтовых вод, положение водоупора, геоморфологическое, геолого-стратиграфическое и гидрогеологическое строение территории. По полученным данным составляют комплексную карту, которая отражает: распространение территорий с общими причинами заболачивания почв; группы почв внутри этих территорий по степени заболоченности; участки с одинаковыми уровнями грунтовых вод. На этой карте гидроизогипсами показывают направление грунтового потока и пьезоизогипсами — напорность вод.

Легенда комплексной почвенно-мелиоративной и инженерно-геологической карты содержит сведения о гидрогеологических и геоло-

Таблица 7.10

Легенда мелиоративной почвенно-литологической карты

Мелиоративная группа почв	Геолого-литологическое строение. Причина заболачивания. Метод осушения	Индекс	Почва	Гранулометрический состав почвенного профиля, почвообразующих и подстилающих пород	Признаки заболачивания	Коэффициенты*		Плотность*, г/см^3	Дозы в период освоения, т/га	
						фильтрации, м/сут	водоотдачи		органических удобрений	извести
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1-я группа. Осушение при любом использовании	Покровные крупнопылеватые суглинки мощностью 2–3 м на мощной толще моренных суглинков, подстилаемых юрскими глинами на глубине 20–30 м. Причина заболачивания почв — поверхностные (намывные склоновые) воды. Метод осушения — ускорение поверхностного и внутрипочвенного стока	1	Торфянисто-перегнойно-глеевая	Торф до 0,3 м; глубже тяжелые покровные суглинки до 3,0 м	Торф; интенсивное оглеение всего профиля	0,4 – 0,6 / 0,2	0,15 – 0,18 / 0,03	0,25 – 0,30 / 1,65	15–20	5,6
		2	Дерново-глеевая тяжелосуглинистая	Тяжелые покровные суглинки до 3,0 м	Интенсивное оглеение с 20 см и ниже по всему профилю	0,2 – 0,4 / 0,05	0,12 – 0,18 / 0,03	1,40 – 1,45 / 1,62	До 30	5,6
		3	Дерново-подзолистая глеевая легкосуглинистая	Легкие суглинки до 2,5–3,0 м на моренных тяжелых суглинках	Интенсивное оглеение профиля глубже 20–30 см. Обилие железистых ортштейнов в гор. А1 и А2; в легкосуглинистых почвах — трубчатые конкреции	0,4 – 0,6 / 0,05 – 0,1	0,14 – 0,15 / 0,12	1,30 – 1,35 / 1,70	40	3,5–5,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2-я группа. Осушение при использовании для культур полевых севооборотов и пастбищ. Без осушения — сенокосы (злаковые влаголюбивые травы)	— // —		Дерново-подзолистая глееватая глинистая	Покровные глины до 3,0 м	Интенсивное оглеение с 0,75 м и глубже. Обилие бурых ортштейнов в гор. A1 и A2g. Мраморовидная окраска гор. B	0,4 – 0,6 / 0,03	0,1 – 0,15 / 0,02	1,40 – 1,45 / 1,60	40	2–3
3-я группа. Осушение при использовании для культур полевых севооборотов и пастбищ. Без осушения — сенокосы (злаковые и бобовые влаголюбивые травы)			Дерново-подзолистая глееватая легкосуглинистая	Легкие суглинки до 2–3 м, подстилаемые моренными суглинками	Интенсивное оглеение с 0,65 м; крупные бурые ортштейны в гор. A1 и A2	0,6 – 0,8 / 0,1 – 0,2	0,15 – 0,18 / 0,12	1,25 – 1,30 / 1,65	40	3,5–6,0
4-я группа. Любое сельскохозяйственное использование возможно без осушения			Дерново-средне- и слабоподзолистые легко- и среднесуглинистые	Легкие и средние суглинки — 0,2 м; ниже тяжелые покровные суглинки до 2,5–3,0 м; глубже — тяжелые моренные суглинки	Признаки заболачивания отсутствуют	–	–	–	30	2–3

* В числителе — пахотного горизонта; в знаменателе — на глубине дрен.

Таблица 7.10 (продолжение)

Легенда мелиоративной почвенно-литологической карты

Разновидность по гранулометрическому составу	Физико-механические и водно-физические свойства пород в слое 1,2–2,0 м					
	плотность, г/см^3	коэффициент пористости	число пластичности	угол внутреннего трения, °	сцепление, кг/см^2	коэффициенты боковой фильтрации, м/сут.
Суглинки тяжелые покровные	1,6	0,72	13–15	27,0	0,30	0,1–0,2
Суглинки тяжелые моренные	1,8	0,65	14–16	27,0	0,40	0,05–0,1
Глина моренная	1,9	0,75	17–19	29,0	0,60	0,05–0,005
Суглинки тяжелые покровные оглеенные	1,8	0,75	15–17	27,0	0,84	0,05–0,07

гостратиграфических условиях территории (табл. 7.11). Обязательная характеристика физических свойств грунтов может быть дополнена необходимыми параметрами. Цифровые обозначения почвенных разновидностей могут быть заменены на индексы государственной почвенной карты.

Комплексные карты содержат основные сведения, отвечающие запросам проектирования мелиоративных систем различного назначения. Целесообразность этого методического приема заключается еще и в том, что единый картографический материал исключает обычные расхождения между результатами почвенно-мелиоративных и инженерно-геологических изысканий.

Изменение методики проектирования может повлечь за собой необходимость отражения на картах новых данных, или, напротив, сделает ненужным фиксацию тех или иных сведений. Как бы, однако, не менялся состав изысканий и нагрузка таких единых карт, принципиальная основа их будет близка изложенным положениям.

Таблица 7.11

Легенда комплексной почвенно-мелиоративной и инженерно-геологической карты

Мелиоративный район и метод осушения		Характеристика районов			Почвенный покров	
		геологостратиграфическая	индекс	почвы	гранулометрический состав почвенного профиля, почвообразующих и подстилающих пород	признаки заболачивания
I. Внепойменные территории, заболоченные грунтовыми водами. Метод осушения — понижение уровня грунтовых вод. В подрайоне Iа — разрушение ортзандовых горизонтов	1а. Сильно ожелезненные воды	Легкие четвертичные отложения, подстилаемые юрскими глинами глубже 5–15 м	1	Дерново-подзолистые глееватые ортзандовые супесчаные	а) супесь до 1,5 м, глубже — песок б) песок с 0,5 м	Интенсивное оглеение с глубины 0,6–0,7 м. Мощный ортзандовый горизонт (30–40 см)
			2	Дерново-подзолистые глеевые ортзандовые супесчаные		Интенсивное оглеение с 0,3–0,4 м. Мощный ортзандовый горизонт
	1б. Мягкие неминерализованные воды	Четвертичные отложения, подстилаемые юрскими глинами глубже 30–50 м	3	Дерново-подзолистые глееватые супесчаные	а) супесь до 1,5 м, глубже песок б) песок с 0,2–0,5 м	Интенсивное оглеение с глубины 0,6–0,7 м
			4	Дерново-подзолистые глеевые супесчаные		Оглеение с 0,3–0,4 м по всему профилю
II. Пойменные территории, заболоченные пресными грунтовыми водами. Метод осушения — регулирование уровня грунтовых вод, защита от паводка во время полевых работ и вегетации растений		Четвертичные отложения (тяжелые в толще 0,0–3 м), подстилаемые юрскими глинами глубже 30–50 м	5	Перегнойно-торфяные маломощные	Песок с 0,5–1 м	Торф 0,5–1,0 м
			6	Перегнойно-торфяные среднемощные	Песок с 1–2 м	Торф с 1–2 м

Продолжение таблицы 7.11

Мелиоративный район и метод осушения	Характеристика районов			Почвенный покров	
	геологостратиграфическая	индекс	почвы	гранулометрический состав почвенного профиля, почвообразующих и подстилающих пород	признаки заболачивания
III. Пойменные территории, заболоченные намывными руслоными водами. Метод осушения — понижение верховодки, ускорение внутрипочвенного стока (на минеральных почвах), защита от паводка во время полевых работ и вегетации растений		7 8 9	Дерновые зернистые глееватые суглинистые Дерновые зернистые глеевые суглинистые Торфяно-глеевые	а) суглинки тяжелые б) суглинки тяжелые с прослойками супеси Суглинки тяжелые с глубины 0,2–0,5 м С 0,3–0,5 м: а) глина б) суглинки	Оглеение с 0,6–0,7 м, усиливающееся книзу Оглеение с 20 см по всему профилю
IV. Незаболоченные территории	Комплекс четвертичных отложений, подстилаемый юрскими или каменноугольными глинами глубже 10 м.	10 11	Дерново-слабоподзолистые песчаные и супесчаные Дерновые зернисто-слоистые легко- и среднесуглинистые	а) песок с 0,2–0,5 м б) песок с 1,5 м а) суглинки б) пески с 0,2–0,5 м	Торф мощностью 0,3–0,5 м Признаки заболачивания отсутствуют

* В таблице дан сокращенный вариант легенды комплексной карты. В полном варианте легенду дополняют сведениями о геоморфологическом и гидрогеологическом строении районов, вводя эти данные в разделе — характеристика районов; данными о нормах внесения органических удобрений и извести и полной характеристикой физико-механических и водно-физических свойств почв до глубин 1,2–2,0 м.

Таблица 7.11 (продолжение)

Легенда комплексной почвенно-мелиоративной и инженерно-геологической карты

Мелиоративный район	Почвенный покров		Водно-физические и физико-механические свойства почв слоя 1,2–2,0 м				
						Коэффициенты	
	Почвы	коэффициент фильтрации, м/сут. / коэффициент водоотдачи в зоне залегания дрен (0,6 ÷ 1,2 м)	рекомендации по осушению	разновидность по гранулометрическому и ботаническому составу	плотность, г/см³	пористости	боковой фильтрации, м/сут / водоотдачи
1	2	3	4	5	6	7	8
I	1. Дерново-подзолистые глееватые ортзандовые супесчаные		Осушение для зерновых и овощных культур; без осушения — сенокосы, пастбища, некоторые влаголюбивые полевые зерновые и овощные (свекла, горох, овес, капуста), сеяные злаковые травы	Супесь серо-желтая	1,45	0,74 / 0,79	0,7 – 0,9 / 0,14 – 0,16
	2. То же, глеевые	0,3 – 0,4 / 0,14 – 0,16	Осушение для всех культур. После осушения почв 1 и 2 — размещение любых культур	Песок светло-серый тонкозернистый плывунный сильноглеенный	1,52	–	8,0 – 10,0 / 0,16 – 0,18
	3. Дерново-подзолистые глееватые супесчаные		То же, что и для 1				

Таблица 7.11 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
	4. То же, глеевые	$\frac{0,5-0,6}{0,18-0,20}$	То же, что и для 2	Торф черный и коричневый, древесно-осоковый. Степень разложения 35–50%, зольность 38–43%	0,40	–	$\frac{3,0-4,0}{0,18-0,20}$
	5. Перегнойно-торфяные маломощные	$\frac{2-3}{0,15-0,20}$	Осушение для всех культур. После осушения — овощные, кроме теплолюбивых, и кормовые культуры, сеяные травы				
II	6. Перегнойно-торфяные среднемощные	$\frac{2-3}{0,15-0,20}$	То же, что и для 5.	Песок светло-серый разнозернистый с включением гравия до 10%, сильноглеенный	1,60	$\frac{0,63}{0,67}$	$\frac{5,0-7,0}{0,20}$
	7. Дерновые зернистые глееватые суглинистые	$\frac{0,6-0,8}{0,18-0,20}$	Осушение при использовании под овощные, полевые и кормовые культуры, пастбища. Без осушения –естественные сенокосы	Суглинок тяжелый иловатый, плотный, зеленовато-серый, оглеенный, агрегированный	1,20	$\frac{0,80}{0,90}$	$\frac{0,8-1,5}{0,12-0,14}$
III	8. То же, глеевые	$\frac{0,2-0,3}{0,08-0,10}$	Осушение для всех культур. После осушения — овощные и кормовые культуры, пастбища, искусственные сенокосы	Песок светло-серый разнозернистый с гравием до 10% (характеристика та же, что и для района II)	1,60	$\frac{0,63}{0,67}$	$\frac{5,0-7,0}{0,20}$

Продолжение таблицы 7.11

1	2	3	4	5	6	7	8
	9. Торфяно-глеевые	1 – 2 / 0,15 – 0,17	Осушение для всех культур. После осушения — кормовые и овощные, кроме теплолюбивых культур	Торф осоковый коричневый. Степень разложения 20–30%, зольность 23–34%	0,43	2,48 / 2,53	1,5 – 2,0 / 0,10 – 0,12
IV	10. Дерново-слабоподзолистые песчаные и супесчаные	1 – 1,5 / 0,12 – 0,20	Сельскохозяйственное освоение территории возможно без осушения. На песчаных почвах водоразделов — посадка сосны	Супесь покровная коричневато-бурая Суглинки покровные тяжелые, желто-бурые Пески желтые разнозернистые со щебенкой до 20%	1,30 1,50 1,40	0,70 / 0,75 0,76 0,54 / 0,56	0,3 / 0,14 0,05 / 0,02 4,0 – 6,0 / 0,20 – 0,23
	11. Дерновые зернисто-слоистые легко- и среднесуглинистые	0,8 – 1,2 / 0,12 – 0,14	В пойме — теплолюбивые овощи, полевые культуры	Суглинок средний, бурый, агрегированный Супесь коричневая	1,10 1,40	1,20 / 1,30 0,66 / 0,75	1,5 – 2,0 / 0,10 – 0,12 0,8 – 1,2 / 0,14

Глава 8
Диагностика, прогноз и профилактика негативных последствий мелиоративных мероприятий и деградации почв

Сельскохозяйственная мелиорация почв является неотъемлемым элементом земледелия. Она направлена на повышение плодородия почв, оптимизацию их режимов и свойств. Эта задача может быть успешно решена при условии глубокого понимания условий формирования почв (т.е. генезиса), их свойств и режимов, достаточно полном представлении о последствиях мелиоративных мероприятий. Если все эти условия учитываются при проектировании и строительстве мелиоративных систем, если они выполнятся в комплексе с необходимыми агрономическими и агрохимическими способами поддержания и повышения плодородия почв, то в этом случае мелиорация почв оказывается эффективным, необходимым и действенным элементом земледелия. И, напротив, если мелиоративные мероприятия проектируются без учета генезиса, свойств и режимов почв, если при строительстве допускаются неоправданные изменения обоснованных решений, то в этом случае часто происходят деградационные изменения почв, снижение или потеря их плодородия. Чаще всего эти негативные явления возникают тогда, когда применяемые способы мелиорации почв оказываются неадекватными их свойствам и режимам, природной среде ландшафта (например, неадекватно применение кротового дренажа и глубокого мелиоративного рыхления для осушения подзолистых оглеенных суглинистых и глинистых оглеенных почв на тонкослоистых ленточных глинах; глубокое осушение низинных торфяных почв в условиях полесий южной тайги; вовлечение в орошение тяжелых гипсоносных почв с высоким содержанием крупнокристаллического гипса и т.д.). В этом случае мероприятия, направленные, казалось бы, на оптимизацию свойств и режимов почв, малоэффективны, бесполезны или опасны. Они вызывают глубокие негативные изменения почв или их гибель.

Гибель почв нередко сопровождается уничтожением ландшафта. Почвоведы, агрономы и мелиораторы, гидрологи и экологи должны представлять возможные негативные последствия применения различных мелиоративных мероприятий на почвах разного генезиса и состава, их опасные деградационные изменения в результате мелиорации, прогнозировать применение необходимых защитных мероприятий по охране всех элементов ландшафта и, прежде всего, почв. Это условие определяется тем, что под влиянием мелиорации изменяются свойства и режимы верхней толщи рыхлых отложений мощностью 1,5–2,0 м, т.е. горизонты почвенного профиля. Очевидно и то, что если эти горизонты обладают благоприятными свойствами и режимами в толще такой мощности (т.е. 1,5–2 м), то обычно применение мелиоративных мероприятий оказывается нецелесообразным для возделывания большинства сельскохозяйственных культур. Именно поэтому почвы следует рассматривать как непосредственный, а в условиях гумидных ландшафтов — как единственный объект сельскохозяйственной мелиорации. В условиях аридных ландшафтов, где в засолении почв принимают участие соленосные почвообразующие породы и грунтовые воды, объектом мелиорации оказываются не только верхние рыхлые горизонты, но и значительная толща почвообразующих пород и вод. В этом случае засолённые породы и минерализованные воды наряду с почвами также следует рассматривать как непосредственные объекты мелиорации.

8.1. Деградационные изменения почв в результате мелиорации, их прогноз и система профилактических мероприятий

В этой главе автором на основе собственных исследований и литературных данных систематизированы сведения о возможности деградационных изменений почв в результате их мелиорации и отражена система защитных профилактических мероприятий.

Следует, прежде всего, подчеркнуть, что деградационные изменения почв не являются детерминированными, неизбежно следующими за любым антропогенным воздействием. Утрата устойчивости почв под влиянием деятельности человека и, как следствие, их деградация происходят только при неадекватном применении тех или иных способов воздействия на почвы. К неадекватным следует отно-

сить такие антропогенные воздействия на почвы, которые не учитывают условия их формирования, естественные и вторичные процессы, вызывают опасные деградационные изменения. Из этого следует, в частности, что исходно неустойчивых почв нет. Почвы, реально возникшие на Земле, устойчивы в тех термодинамических и геохимических условиях, которые определили их формирование. Но почвы устойчивы до тех пор, пока они не подвергаются направленному неадекватному воздействию, в том числе и антропогенному. Поэтому при вовлечении почв в тот или иной вид использования нельзя применять мероприятия, выводящие почвы из устойчивого состояния. Непонимание этого принципиального условия рационального природопользования оказалось причиной широкого распространения и весьма разнообразного проявления антропогенной деградации почв на Земле.

Для того чтобы прогнозировать возникновение вторичных неблагоприятных явлений и обосновать системы защиты почв и ландшафтов от деградационных изменений, обусловленных антропогенным воздействием, необходимо, прежде всего, установить их причины. Принципиальные причины, вызывающие деградационные изменения почв немногочисленны. Они сводятся к действию пяти факторов — гидрологического, эрозионного, химического, радиологического и механического.

Поскольку мелиоративные мероприятия прежде всего направлены на изменения водного режима почв и, опосредованно, на их другие режимы (температурный, газовый, окислительно-восстановительный), рассмотрим негативные явления, возникающие в результате резкого изменения гидрологического состояния мелиорируемых почв в различных регионах Земли.

При оценке роли деградационного влияния гидрологического фактора следует учитывать все те виды воздействия на почвы (гидротехнические, мелиоративные, агромелиоративные, агрономические, дорожно-строительные, индустриальные), которые в конечном итоге приводят к неблагоприятной трансформации их водного режима.

При рассмотрении конкретных проявлений деградации почв в меняющихся под влиянием деятельности человека гидрологических условиях мы будем придерживаться последовательности изложения материала, принятого в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Изменения гидрологического режима почв в результате антропогенной деятельности, формы деградации и мероприятия по их профилактике

№	Причины деградации почв	Деградационные изменения почв	Мероприятия, предупреждающие деградацию почв
	1. Гидротехнические		
1.1	Затопление почв в мелководной зоне равнинных водохранилищ	Заболачивание преимущественно пресными водами	Устройство польдерных осушительно-оросительных систем
1.2	Подтопление почв в верхнем бьефе водохранилищ	Заболачивание; заболачивание и засоление	Дренаж; на засоленных массивах — мероприятия по рассолению
1.3	Заболачивание; заболачивание и засоление автоморфных почв богарных территорий в результате подъема минерализованных грунтовых вод, поступающих на сопредельные массивы от действующих ирригационных систем, водохранилищ, во влажные годы	Формирование мочаров. Вторичное заболачивание и засоление черноземов. Возникновение луговых и черноземно-луговых незасоленных и засоленных почв в контурах черноземов	Дренаж, вертикальные антифильтрационные завесы; сеть ловчих каналов; снегозадержание; мероприятия по рассолению и рассолонцеванию
	2. Мелиоративные (объекты осушения)		
2.1	Периодический или постоянный (при глубоком осушении) отрыв грунтовых вод от толщи осушаемых торфяных почв в условиях самотечного осушения	а. Ускоренное разложение органического вещества торфа б. Тотальное пирогенное уничтожение осушенных торфяных почв	Поддержание лугового типа водного режима почв; травосеяние или травопольные севообороты. Покровное или смешанное пескование. Применение органических удобрений для сохранения баланса углерода. Противопожарные мероприятия на мелиоративных системах. Дождевание
2.2	Самотечное осушение торфяных почв с использованием в пропашных севооборотах, применение тяжелой техники	Ускоренное разложение органического вещества при нормированном осушении	Поддержание лугового типа водного режима; использование в качестве зеленных угодий (луга, луговые или лугопастбищные севообороты); применение органических удобрений; запашка пожнивных остатков. Противопожарные мероприятия. Возможно дождевание. Применение машин и механизмов с уменьшенным давлением на почву (80–100 кПа)

Продолжение таблицы 8.1

№	Причины деградации почв	Деградационные изменения почв	Мероприятия, предупреждающие деградацию почв
2.3	Дренирующее и обезвоживающее влияние самотечного осушения в полесьях и в поймах при близком залегании песка на почвы прилегающих водосборных площадей	Иссушение почв примыкающего водосбора, в том числе и заболоченных почв, в результате интенсивного действия самотечного дренажа. Возможна их переосушка	Учет при проектировании осушительных систем зоны их влияния на недренированные площади водосборных территорий
2.4	Дренаж структурных пойменных суглинистых и глинистых почв в условиях пропашных севооборотов с использованием тяжелой техники	Переуплотнение; формирование верховодки на переуплотненных подпахотных горизонтах. Вторичное поверхностное заболачивание	Травопольные севообороты, уменьшение давления машин и механизмов до 80–100 кПа. Внесение органических удобрений и известкование кислых почв. Рыхление на глубину 50 см, чизелевание или кротование
2.5	Глубокое мелиоративное рыхление осушенных низинных торфяных почв	Ускорение биохимического разложения органического вещества	Отказ от глубокого мелиоративного рыхления; возможна замена рыхления кротованием
2.6	Глубокое мелиоративное рыхление осушаемых тяжелых почв на тонкослоистых ленточных глинах	Отсутствует эффект улучшения физических свойств почв и их водного режима	Отказ от глубокого рыхления; его замена на мероприятия по ускорению поверхностного стока
2.7	Дренаж, глубокое мелиоративное рыхление, кротование всех почв на средне- и сильнокаменистых моренных песках, суглинках и глинах с включением валунов крупнее 30 см	Неэффективно строительство бестраншейного пластмассового, траншейного керамического и пластмассового дренажа, применение кротования, глубокого мелиоративного рыхления	Переход на строительство траншей или каналов одноковшовыми экскаваторами, отказ от кротования и глубокого мелиоративного рыхления
2.8	Вторичный подъем ожелезненных грунтовых вод в результате закупорки дрен гидроокисью железа и прекращения работы осушительной системы	Вторичное заболачивание ожелезненными грунтовыми водами	Защита дренажа от закупорки гидроокисью железа (промывка дрен, увеличение их уклона, применение ингибиторов железобактерий, применение дрен крупного диаметра, устройство ловчих каналов)
2.9	Трансформация застойного водного режима в застойно-промывной при осушении нейтральных или кислых почв, обогащенных пиритом	Аэрация значительных масс пирита с образованием серной кислоты и экстракислых почв в результате понижения базаса эрозии – дренажа, продвижения авандельты и др.	Устройство поверхностной сбросной сети и выпуклых гряд для эффективной промывки почв тропическими или муссонными дождями с последующей посадкой и возделыванием культур, устойчивых к высокой кислотности почв (ананасы, баклажаны и др.)

Продолжение таблицы 8.1

№	Причины деградации почв	Деградационные изменения почв	Мероприятия, предупреждающие деградацию почв
2.10	Трансформация застойного водного режима в застойно-промывной при осушении почв на кислых, нейтральных или выщелоченных породах	Интенсивный вынос Ca, Mg, Fe, Al, Mn, гумусовых веществ, лессиваж. Появление подзолистого горизонта или увеличение его мощности	Известкование, внесение минеральных и органических удобрений; травопольные севообороты; мероприятия по ускорению поверхностного и внутрипочвенного стока
	3. Мелиоративные (объекты орошения)		
3.1	Трансформация промывного водного режима в застойно-промывной при орошении почв пресными водами на фоне систематических переполивов	То же, что и 2.10, появление оподзоленных горизонтов	То же, что и 2.10, оптимизация поливного режима
3.2	Длительное периодическое затопление почв суглинистого состава на рисовых системах на фоне заметной инфильтрации	Подкисление и оглеение в условиях застойно-промывного водного режима. Вынос щелочно-земельных металлов, железа, марганца и др. элементов. Возможно оподзоливание и формирование «рисовых» подзолов	Дренаж. Известкование. Травопольные севообороты. Аэрация профиля почв
3.3	Длительное затопление почв тяжелого гранулометрического состава на рисовых системах при отсутствии заметной инфильтрации	Подкисление и оглеение в условиях застойного водного режима. Признаки или интенсивное развитие слитообразования	Дренаж. Глубокое рыхление. Травопольные севообороты. Известкование (на кислых и выщелоченных породах)
3.4	Подъем минерализованных грунтовых вод, приводящий к засолению почв	Аккумуляция в ризосфере токсичных солей. Вторичное засоление	Мероприятия по рассолению на фоне дренажа (промывки, травосеяние)
3.5	Подъем минерализованных грунтовых вод, приводящий к осолонцеванию почв	Аккумуляция Na в поглощающем комплексе. Вторичное осолонцевание	Мероприятия по рассолонцеванию на фоне дренажа; выборочные промывки. Высокие дозы органических удобрений; гипсование; кислование с внесением известковых материалов (на бескарбонатных породах); травосеяние
3.6	Близкое залегание жестких грунтовых вод на орошаемых массивах	Образование плотного мощного горизонта, заполненного Ca, Mg(CO_3). Доломитизация почв	Глубокое мелиоративное рыхление. Создание анаэробной среды в поверхностных горизонтах путем внесения органического вещества, способного к ферментации и затопление почв мелиорируемого массива на фоне дренажа

Продолжение таблицы 8.1

№	Причины деградации почв	Деградационные изменения почв	Мероприятия, предупреждающие деградацию почв
3.7	Застой промывных вод в верхних горизонтах гипсоносных почв тяжелого состава, содержащих значительные массы крупнокристаллического гипса	Заболачивание почв	Эффективные методы мелиорации и использования почв в орошаемом земледелии не разработаны. На данном этапе, как правило, вовлекать такие гипсоносные почвы в орошение нецелесообразно
3.8	Суффозия почв, обогащенных мучнистым и мелкокристаллическим гипсом, на орошаемых массивах и по трассам каналов	Нарушение режима орошения, недополивы, потеря урожая и оросительных вод; вероятно вторичное засоление	Профилактические мероприятия должны предусматривать постановку детальных изысканий для составления картограмм содержания и форм гипса. Проведение предварительного замачивания почв в опасных контурах. Устранение выявленных суффозионных воронок. Дренаж для защиты территории от вторичного заболачивания и засоления
3.9	Распашка и орошение скелетных почв (галечниковый аллювий) на глубине 0–20 см	Уничтожение мелкоземистого слоя почвы	Скелетные почвы не следует вовлекать в земледелие. Лучший вид использования — богарные естественные пастбища
3.10	Возникновение грязевых селей в результате поверхностного орошения лёссовых почв на адырах	Уничтожение почвенного покрова и ландшафта	Применение строго нормированного дождевания малыми нормами или капельного орошения многолетних садовых растений и винограда. Использование территории для возделывания древесных плодовых и винограда
	4. Агромелиоративные		
4.1	Переувлажнение недренированных оглеенных тяжелых почв в результате глубокого мелиоративного рыхления	Вторичное заболачивание в условиях застойного водного режима. Уплотнение, дезагрегирование, резкое уменьшение фильтрации	Дренаж
4.2	Интенсивное иссушение дренированных торфяных почв при разных видах пескования	Ускоренное разложение органического вещества торфа	Регулируемое шлюзование, субирригация; дождевание; органические удобрения, травопольные севообороты или залужение

Продолжение таблицы 8.1

№	Причины деградации почв	Деградационные изменения почв	Мероприятия, предупреждающие деградацию почв
	5. Агрономические		
5.1	Увеличение поверхностного стока, аккумуляция воды в понижениях и возникновение верховодки в результате переуплотнения почв сельскохозяйственных угодий тяжелой техникой	Уплотнение подпахотного горизонта	Рыхление на глубину 45–50 см или кротование; травопольные севообороты; использование техники с давлением на почву менее 100 кПа
5.2	Уничтожение уремных лесов и распашка песчаных дерновых слоистых почв прирусловой области пойм незарегулированных рек	Уничтожение русловой эрозией почвенного покрова гривистой поймы, занос песком низколежащих лугов и пашен	Сохранение уремных лесов прирусловой поймы. Отказ от сельскохозяйственного использования песчаных почв прирусловой области пойм
	6. Дорожно-строительные		
6.1	Переувлажнение в результате пересечения трасс естественных водотоков (поверхностных и грунтовых) линиями автомобильных, железных дорог, взлетно-посадочными полосами аэродромов, дамбами, другими сооружениями	а. Заболачивание или б. заболачивание и засоление	а. «Проколы» в дорожных насыпях; польдеры на крупных массивах; коллекторно-дренажные системы б. То же; мероприятия по рассолению
	7. Индустриальные (влияние горной, сельскохозяйственной и других видов индустрии)		
7.1	Понижение гипсометрического уровня поверхности в районах шахтных выработок и подтопление почв	Заболачивание	Подъем поверхности путем складирования почвогрунтовых масс (землевание); кулисная планировка поверхности
7.2	Затопление почв в результате систематического сброса на подкомандные территории дренажных вод из различных выработок (шахты, карьеры) или сточных вод животноводческих ферм, а также бытовых стоков	Заболачивание (заболачивание и засоление)	Организация полей фильтрации; уменьшение объемов стока; полив сточными водами преимущественно многолетних и однолетних трав; аккумуляция сточных вод в водохранилищах

Весьма мощным и быстродействующим фактором изменения гидрологического режима почв являются гидротехнические мероприятия (1)[1].

Для равнинных пространств существенной причиной деградации почв оказалось их затопление в мелководных и глубоководных зонах

[1] 1) — номер раздела и (1.1) — номер вида гидрогенных деградационных изменений, связанных с вторичной трансформацией гидрологического режима.

водохранилищ (1.1). Мелководья — обширные пространства периферийных зон водохранилищ, слой воды в которых не превышает 3 м. Эти территории, занимая значительные площади, аккумулируют небольшие объемы воды, слабо влияющие на работу гидроэлектростанций. Мелководья равнинных водохранилищ приурочены к пойменным террасам с относительно плодородными в исходном состоянии пойменными почвами. Как правило, после затопления здесь сохраняются затопленные лес и кустарник, препятствующие развитию водного транспорта и рыбного хозяйства.

Затопленные почвы мелководий, в отличие от глубоководной части акватории, за время длительного субаквального существования не перекрываются мощным слоем неплодородного серого ила. Затопленные почвы мелководий сохраняют достаточно высокий уровень плодородия после осушения и могут быть вторично вовлечены в сельскохозяйственное производство [Зайдельман, Гаджиев, Рожкова, 1979; Луковская, 1990; 1997].

Их использование в лесной и лесостепной зонах возможно в условиях польдерного осушения и эффективного удобрения. На юге степной и в полупустынной зоне такое освоение может быть существенно осложнено вторичным засолением.

Подтопление почв верхнего бьефа водохранилищ (1.2) является причиной их заболачивания в лесной и лесостепной зонах, засоления и заболачивания — в более южных регионах. Вместе с тем их вовлечение в сельскохозяйственное производство в обозримом будущем может оказаться существенным, а в ряде регионов единственным резервом пополнения площадей сельскохозяйственных земель.

При этом в первом случае необходимы тщательная оценка степени их заболоченности и дифференцированный подход при выборе альтернативных решений. На слабопереувлажненных почвах могут быть созданы естественные луга или пашни с подбором устойчивых к переувлажнению культур полевых севооборотов. Критерием оценки целесообразности выполнения мелиоративных мероприятий в этом случае могут оказаться ранее рассмотренные предложения автора (см. с. 6.3) и «Рекомендации по диагностике степени заболоченности минеральных почв Нечерноземной зоны РСФСР и оценке целесообразности их осушения (пособие к ВСН-33-2.1-84)».

Во втором случае в южных районах страны в верхнем бьефе водохранилищ возможно вторичное засоление и заболачивание почв.

Их деградацию можно предотвратить с помощью дренажа и мероприятий по рассолению почв.

На юге России, главным образом в Ростовской области, Ставропольском и Краснодарском краях в настоящее время идут активные процессы подъема к дневной поверхности засоленных грунтовых вод, заболачивания, засоления, осолонцевания, слитизации и глееобразования почв (1.3). Реальная опасность этих процессов заключается в том, что они ведут к деградации лучших почв страны — черноземов обыкновенных и южных, темно-каштановых почв в результате формирования мочарных ландшафтов. На современных пашнях в результате засоления и заболачивания черноземы замещаются оглеенными, слитыми, засоленными, осолонцованными малоплодородными или бесплодными почвами. Ранее нами были подробно рассмотрены условия их возникновения, агроэкологии и мелиорации [Зайдельман, Тюльпанов, Ангелов, Давыдов, 1998]. Два обстоятельства ответственны за появление в степной зоне почв мочарных ландшафтов.

Во-первых, смена засушливых климатических периодов влажными 11–13-летними циклами и, во-вторых, усиление притока инфильтрационных вод в бассейны грунтовых вод в результате создания крупных водохранилищ, сети ирригационных каналов, водоемов внутрихозяйственного пользования и др. Поскольку водоупорами и вмещающими породами здесь часто являются засоленные толщи, пресные инфильтрационные воды трансформируются в соленые и с восходящим капиллярным током влаги выносят на поверхность значительную массу солей (преимущественно сульфатов и хлоридов).

Такое явление особенно часто наблюдается в ареалах отложений майкопских глин, засоленных преимущественно сульфатом натрия. Обычно такие территории служат ареной вторичного развития сложных сочетаний различных почвообразовательных процессов, вызванных переувлажнением почв пресными и минерализованными водами, — глееобразования, засоления, осолонцевания, сульфатредукции, слитизации, ощелачивания.

Однако ведущим фактором наблюдаемых негативных трансформаций всегда оказывается переувлажнение почв. Именно поэтому для восстановления плодородия почв здесь, прежде всего, необходим дренаж, а затем комплекс мероприятий по рассолению, рассолонцеванию, устранению слитости, признаков осолодения. Только дренаж

в этом случае не может решить сложный комплекс проблем восстановления утраченного плодородия некогда лучших почв юга страны.

Наряду с гидротехническими причинами деградационного изменения почв в результате неблагоприятного изменения их водного режима существенную роль в такой трансформации играют *мелиоративные* мероприятия.

В частности, это относится к осушительным мелиорациям (2), обеспечивающим не только глубокое понижение уровня грунтовых вод, но и отрыв капиллярной каймы (2.1 а) от торфяной залежи. Такой новый способ осушения в нашей стране получил распространение в начале 60-х годов XX в. [Аверьянов, Юневич, Игнатьева, 1960]. По мнению его авторов, ожидаемый эффект мог быть достигнут путем использования глубоких (3,5–5 м) каналов для осушения торфяных почв полесий. Однако вскоре после осушения низинных торфяных почв глубокими каналами практически всегда возникает процесс их стремительной деградации. В те годы мы писали о том, что следствием подобной «мелиорации» неизменно окажется разрушение почв и ландшафтов [Зайдельман, 1960]. К сожалению, практика подтвердила этот прогноз. Способ глубокого осушения торфяных почв в условиях южной тайги — основной сельскохозяйственной зоны страны — вызвал опасное обезвоживание торфяной залежи и ландшафтов, ускоренное биохимическое разложение органического вещества торфа, пожары, ветровую эрозию. После полной сработки торфа на дневной поверхности оказались бесплодные кварцевые оглеенные пески, известковые горизонты и мергеля. При этом в грунтовые воды поступали значительные массы нитратов, обусловившие евтрофикацию вод водотоков и водоемов.

В России способ самотечного осушения низинных болот с помощью глубоких каналов не получил заметного распространения. Однако в Белоруссии, где глубокое осушение в 60-е годы было широко внедрено в сельскохозяйственную практику, за короткий отрезок времени (10–14 лет) было уничтожено более 150 тыс. га исходно плодородных осушаемых торфяных почв. Их основные массивы выпали из сельскохозяйственного использования.

Следует подчеркнуть, что явления быстрой деградации и полного исчезновения осушаемых торфяных почв на мелиорированных массивах возможны практически повсеместно при неконтролируемом режиме грунтовых вод на самотечных системах и с неглубоким зале-

ганием регулирующей сети осушителей (2.1 б). Такого рода явления обычно возникают в период летней межени при низком уровнѐ грунтовых вод. В этом случае при периодическом и непродолжительном (1–1,5 месяца) отрыве капиллярной каймы от торфяной залежи возможно ее быстрое выгорание. В отличие от неосушенных территорий пожары на осушаемых болотах приводят к полному выгоранию торфа до минерального дна. В результате формируются разнообразные пирогенные образования, нередко с высокой исходной щелочностью (pH 10–11). Территории сгоревших болот малопригодны для сельскохозяйственного использования, во-первых, в связи с утратой плодородия и исчезновения органических почв (обычно после пожара — это песчаные и пирогенно-песчаные образования) или, во-вторых, из-за интенсивного вторичного заболачивания в результате резкого понижения гипсометрического уровня поверхности. Последнее можно наблюдать в ареалах вторичных пирогенно-перегнойных и пирогенных древесно-песчаных образований.

Поскольку торф сгорает на относительно ограниченных площадях (50–150 га), находящихся внутри общего контура осушенных плодородных торфяных почв, осушение самих пирогенных образований на хорошо водопроницаемых песках вызывает общее снижение грунтовых вод на всем массиве и создает благоприятные условия для дальнейшего распространения пожаров по всей осушенной площади низинных торфяных почв.

Профилактические мероприятия в этом случае сводятся к следующему. Осушаемые торфяные почвы должны находиться в условиях лугового типа водного режима. При этом недопустим отрыв грунтовых вод от нижней кровли торфяной залежи. На таких почвах необходимо поддерживать сбалансированный расход органического вещества. Поэтому целесообразно залужение осушенных торфяных почв или при значительной мощности торфа (более 1,5 м) применение травопольных севооборотов с высокой насыщенностью травами, внесение в почву органических удобрений и запашка пожнивных органических остатков.

Особую опасность представляют мероприятия, связанные с самотечным осушением торфяных почв и их последующим вовлечением в севообороты, насыщенных пропашными культурами (картофелем, овощными, кукурузой), и обработкой почв тяжелой техникой. В этом случае (2.2) темпы сработки торфа в результате интенсивного биохи-

мического распада органического вещества оказываются максимальными и достигают 2–3 см/год. Система защитных мероприятий предусматривает отказ от использования органогенных почв в пропашных севооборотах, поддержание осушаемых почв в условиях лугового типа водного режима, травосеяния, применения органических удобрений, противопожарных мероприятий, увлажнение поверхностных горизонтов дождеванием при их иссушении в условиях неглубокого залегания грунтовых вод, отказ от использования тяжелой техники. Учитывая, что в настоящее время эксплуатация торфяных осушаемых почв практически повсеместно ведется без соблюдения этих абсолютно необходимых условий, предложенные мероприятия по их защите от деградации оказываются особенно актуальными.

В условиях полесий, пойм и моренных песчаных пространств с близким залеганием водоносного песчаного горизонта все элементы ландшафта находятся в тесной гидрологической взаимосвязи. Локальное понижение уровня грунтовых вод в результате действия осушительной системы на торфяных почвах, подстилаемых песками, или на сильноглеенных песчаных почвах, может распространяться на значительные площади прилегающих к ним неосушаемых водосборных массивов. Этот вторичный процесс вызывает их опасное обезвоживание (2.3). Поэтому при проектировании осушительных мероприятий необходимо рассчитывать гидрологическое влияние на почвы площадей примыкающего водосбора для того, чтобы избежать неоправданного снижения уровней грунтовых вод в таких ландшафтах и деградации почв в результате их обезвоживания.

В условиях гумидных ландшафтов наряду с торфяными наиболее плодородными и наименее устойчивыми являются пойменные агрегированные почвы. Их осушение, вовлечение в пропашные севообороты на фоне применения тяжелой техники вызывает быстрое разрушение структуры, переуплотнение подпахотных горизонтов, резкое ухудшение физических свойств и другие деградационные явления (2.4). Как правило, в их профиле возникает вторичный водоупорный горизонт, на поверхности которого устойчиво удерживается верховодка в период орошения и при выпадении осадков. Противодеградационными мероприятиями в этом случае являются травопольные севообороты, применение машин с уменьшенным давлением на почву (менее 80–100 кПа), систематическое внесение органических, минеральных удобрений и известко-

вания, разрушение вторичного водоупора поверхностным рыхлением, чизелеванием или кротованием на глубинах 45–50 см.

Глубокое мелиоративное рыхление — сравнительно новый способ агромелиорации почв. Он способен быстро изменить неблагоприятные физические свойства почв. Однако следует иметь в виду, что его применение на торфяных почвах (2.5) вызовет ускоренное биохимическое разложение их органического вещества. Поэтому в этом случае целесообразно отказаться от глубокого рыхления и использовать кротование, а в почвах на тяжелых ленточных глинах из-за отсутствия эффекта улучшения физических свойств в результате особенностей их текстуры вообще отказаться от применения любых агромелиоративных мероприятий по ускорению внутрипочвенного стока (2.6). В этом случае правомерна замена глубокого рыхления мероприятиями по ускорению поверхностного стока.

Достаточно очевидно, что на средне- и сильнокаменистых почвах с включением валунов крупнее 30 см окажется неэффективным строительство осушительных систем с использованием бестраншейного пластмассового и траншейных керамического и пластмассового дренажей, кротового дренажа, глубокого рыхления и кротования. В таких условиях необходим переход на строительство каналов и траншей одноковшовыми экскаваторами и отказ от использования кротования и глубокого рыхления (2.7).

Вторичное заболачивание осушаемых минеральных и торфяных почв и их выпадение из сельскохозяйственного оборота может быть обусловлено гидрохимическими особенностями грунтовых вод, быстрым выходом из строя гончарных и особенно пластмассовых дрен в результате закупорки их стыков и перфорации гидроокисью железа (2.8). Это явление имеет место при осушении почв Нечерноземной зоны в ареалах ожелезненных грунтовых вод в условиях неглубокого залегания водоупорных или вмещающих пород, обогащенных пиритом (например, юрских глин) [Зайдельман, 1981; Кунце, 1986]. Примером мелиорированных массивов такого типа оказалась «Яхромская пойма» Московской обл., где построенная в 60-х годах система гончарного (керамического) дренажа уже к началу 70-х почти на 70–75% вышла из строя в результате закупорки дрен гидроокисью железа. Это произошло главным образом потому, что при изысканиях и проектировании системы не были учтены высокие концентрации закисного железа в грунтовых водах массива. В этой

связи следует подчеркнуть, что гидроморфные почвы в зонах распространения ожелезненных грунтовых вод всегда характеризуются наличием весьма разнообразных конкреционных и неконкреционных Mn–Fe- и Fe-новообразований, позволяющих в полевых условиях прогнозировать опасность ожелезнения, выхода из строя дрен и необходимую систему мероприятий по защите дренажных труб от заохривания.

Профилактические мероприятия по защите дренажа от закупорки, исключающие деградацию почв от вторичного затопления, заключаются в промывке дрен, увеличении их уклонов (до 0,005–0,007), ингибировании железобактерий (например, внесением в воды дренажного стока ионов меди), применении ловчих каналов для перехвата ожелезненных грунтовых вод. Важны в этом случае агрономические и агромелиоративные мероприятия, устраняющие повышенную кислотность и усиливающие аэрацию горизонтов почвенного профиля. К ним относятся известкование, кротование, глубокое рыхление и др.

Особое значение для мировой сельскохозяйственной практики имеют деградационные изменения заболоченных сульфидных почв после их осушения и аэрации (2.9). Такие почвы и породы, обогащенные пиритом, получили особенно широкое распространение в приморских зонах и в дельтах крупных рек стран Юго-Восточной Азии. В анаэробных условиях при близком залегании сульфатных вод, систематическом поступлении наилка, образованного из красноцветных пород и кор выветривания, обогащенного железом, и опада органического вещества мангровой растительности непрерывно идет процесс сульфатредукции, образование и накопление сульфида железа [Зайдельман, 1992]. Этот непрерывный многовековой процесс ответственен за накопление огромных масс сульфида железа в профиле почв. Последний в анаэробной среде остается в покое до тех пор, пока в результате осушения, продвижения в океан авандельты, других причин понижения базиса эрозии не начинаются интенсивная аэрация профиля, окисление сульфидов и накопление в почвах серной кислоты. После этого значение их pH опускается до 2,8–3,5. В этом случае практически невозможно нейтрализовать известью огромные массы непрерывно возникающей серной кислоты. Поэтому пока единственным реальным способом освоения этих почв является промывка верхних слоев профиля от кислоты водой во время

затяжных тропических дождей. С этой целью создают неглубокую сбросную сеть каналов, а поверхность почв профилируют в виде высоких выпуклых гряд (типа грузинских «квали» или итальянских «буаляцио»). На них высаживают культуры, устойчивые к высокой кислотности почв (например, ананасы, баклажаны и др.). Дожди вымывают из корнеобитаемой зоны серную кислоту, а растения в этих условиях способны производить высокие урожаи.

Сложность освоения почв сульфидного засоления не ограничивается, однако, только необходимостью защиты растений от высокой кислотности. В процессе сульфатредукции железо переходит в растворимую двухвалентную форму. В этой форме оно вступает во взаимодействие с анионом фосфорной кислоты, и после окисления выпадает в осадок. Поэтому проблема ретроградации фосфатов здесь приобретает особую актуальность. Не менее существенно в этих условиях анионное поглощение нитратов оксидами железа. Именно поэтому огромные массивы сульфидных почв в густонаселенных районах Юго-Восточной Азии остаются до настоящего времени слабоосвоенными или вообще не используются в сельском хозяйстве.

На массивах осушения лесной зоны существенные деградационные явления могут возникать в результате изменения гидрологического режима интенсивно заболоченных минеральных почв после их дренажа (2.4). В этом случае почвы, находившиеся ранее (до мелиорации) в условиях застойного режима, оказываются в застойно-промывном режиме. Исследования автора показывают, что такое изменение гидрологических условий приводит к резкой трансформации важнейших свойств твердой фазы осушаемых минеральных почв. Их переход в состояние застойно-промывного режима после дренажа вызывает прежде всего глубокую трансформацию химических свойств почв, увеличение кислотности, выноса Mn, Fe, Ca, Mg, Al. Возникает лессиваж, снижается степень насыщенности основаниями, уменьшается удельная поверхность, увеличивается мощность элювиальных светлых кислых (подзолистых) горизонтов или они появляются в профиле ранее не оподзоленных почв.

Эти деградационные явления в условиях застойно-промывного режима усиливаются при низком уровне агротехники. Не случайно поэтому в последние годы появились сообщения о том, что в глееватых и глеевых почвах на кислых или нейтральных породах после дренажа наблюдается появление светлых подзолистых горизонтов или

увеличение их мощности [Зайдельман, 1998; Копысов, 1997; Петров, 1989 и др.].

Аналогичный механизм возникновения антропогенных деградационных изменений наблюдается в последнее время и на массивах орошения (3) при систематических переполивах черноземов и темно-каштановых почв (3.1). В этом случае автоморфные в исходном состоянии почвы с непромывным типом водного режима оказываются в условиях вторичного застойно-промывного режима. Мы попытались моделировать и исследовать последействия такой трансформации [Зайдельман, Давыдова, 1989]. В результате была экспериментально подтверждена возможность быстрой деградации черноземов типичных при их орошении пресными водами в условиях относительно непродолжительных (около 5 ч) переполивов.

Кратковременное переувлажнение оказывает интенсивное деградационное воздействие на минеральные и органические фракции твердой фазы почвы. Процесс реализуется в несколько стадий — вначале выщелачиваются кальций и магний, затем железо, нередко алюминий. Накапливаются низкомолекулярные органические, фульво- и аминокислоты, развивается лессиваж, снижается степень насыщенности основаниями [Зайдельман, 1998]. На более поздних стадиях наблюдается побеление поверхностных слоев чернозема. На завершающем этапе в результате периодических переполивов пресными водами возникают отчетливые кислые элювиальные белесые (оподзоленные) горизонты.

Генезис светлых кислых элювиальных горизонтов обусловлен теми же процессами, которые ответственны за возникновение и усиление оподзоливания при дренаже оглеенных почв, находящихся в естественном состоянии в условиях застойного водного режима. Это опасное явление в полевых условиях на крупных орошаемых массивах Поволжья и Заволжья было обнаружено и описано Е.Н. Хлебниковой (1989).

Оно особенно отчетливо проявляется в почвах суглинистого гранулометрического состава на рисовых ирригационных системах (3.2). Здесь при длительном затоплении в условиях застойно-промывного режима при интенсивной, почти круглогодичной декантации поверхностных горизонтов и инфильтрации происходят вынос кальция, магния, железа, марганца, лессиваж и отчетливо проявляется оподзоливание почв. В результате многовековой культуры орошe-

ния риса на фоне высоких температур и быстрого развития анаэробиоза возникают почвы с особо мощными вторичными подзолистыми горизонтами. В классификациях почв Бирмы, Вьетнама, других стран Юго-Восточной Азии они названы «рисовыми подзолами». Это малоплодородные или вообще неплодородные элювиальные почвы, использование которых оказывается возможным лишь для возделывания бобовых, фиксирующих азот атмосферы (например, арахиса).

Итак, мы упомянули три случая проявления деградационных процессов, обусловленных вторичным действием в профиле осушаемых и орошаемых почв глееобразования на фоне застойно-промывного режима в лесной, степной и тропической зонах. Существенно, что описанный деградационный процесс можно затормозить или преодолеть с помощью одних и тех же мероприятий, независимо от зональной приуроченности почв. Последнее косвенно свидетельствует о генетической общности и едином механизме явлений, вызывающих их подкисление, осветление, потерю плодородия и деградацию.

Мелиоративные воздействия на почвы могут вызывать развитие глееобразования не только на фоне застойно-промывного, но и застойного водного режима (3.3). Если при этом оросительные и грунтовые воды пресные, то при глееобразовании интенсивного подкисления почв не происходит, не проявляется лессивирование, слабо выражен вынос щелочно-земельных металлов, алюминия и железа. Но при этом наблюдается дезагрегация структурных отдельностей, увеличиваются (относительно) содержание тонких фракций мелкозема, удельная поверхность, влагоемкость, существенно уменьшается водопроницаемость. В почвах накапливается нонтронит, возникает гизенгирит, появляются признаки слитости. Почвы, формирующиеся в условиях выраженного застойного режима (например, при необеспеченном дренаже на рисовых системах), в конечном итоге характеризуются существенным снижением их плодородия и деградацией физических свойств.

Восстановление их плодородия предполагает, прежде всего, сброс избыточных вод с помощью самотечных или польдерных дренажных систем, а также осуществление агромелиоративных мероприятий по ускорению поверхностного и внутрипочвенного стоков. В этом случае особо эффективными могут оказаться мероприятия по глубокому мелиоративному рыхлению и кротованию (кроме почв на тяжелых кислых ленточных глинах), внедрение травопольной системы земле-

делия, организация выборочных пастбищ, влажных экстенсивно осушаемых лугов (5).

Существенное изменение водного режима в результате орошения в условиях степной и полупустынной зон приводит к глубокой трансформации свойств и плодородия почв. Возможный при этом подъем грунтовых вод в зависимости от их геохимических особенностей вызывает вторичное засоление и осолонцевание почв (3.4, 3.5).

Этой проблеме посвящена обширная литература, созданы многие технологии, позволяющие успешно решать вопросы охраны почв и ландшафтов. Изложенное исключает необходимость детального рассмотрения современных способов мелиорации почв, формирующихся в условиях вторичного засоления и осолонцевания. Отметим лишь, что в этом случае остаются весьма актуальными вопросы, на которые пока все еще не даны полные ответы.

Четыре следующие ситуации связаны с деградационными изменениями почв в условиях орошения в аридных регионах Земли. Здесь распространено орошение почв на фоне неглубокого залегания жестких грунтовых вод, обеспечивающих поступление и накопление в поверхностных горизонтах почвенного профиля карбонатов кальция и магния. В результате возникает интенсивно идущий процесс доломитизации ризосферы (3.6). Возникает новый малопродородный плотный плохо водопроницаемый горизонт. Для растворения значительных масс извести и доломита необходим перевод этих соединений в форму бикарбонатов щелочно-земленных металлов. Последнее возможно в условиях резкого увеличения концентрации диоксида углерода в почвенном воздухе. Для этого выполняют глубокое мелиоративное рыхление, с помощью которого разрушают плотные доломитизированные горизонты профиля и затем в поверхностные горизонты вносят значительную массу органических удобрений (~100–150 т/га), которую сразу запахивают в горизонт Ap. После этого затапливают весь участок водой для того, чтобы вызывать развитие в почве процесса устойчивого анаэробиоза. В таком состоянии через несколько дней резко возрастает парциальное давление диоксида углерода, при котором неподвижные карбонаты переходят в подвижные водорастворимые бикарбонаты. Если растворение доломита оказалось неполным, целесообразно повторение этих мероприятий до полной отмывки поверхностных слоев профиля от масс доломита и извести.

Среди рассматриваемых случаев весьма трудным для исполнения является промывка от засоления тяжелых почв, содержащих крупнокристаллический гипс (3.7). Эти почвы практически водопроницаемы. Методика их эффективной мелиорации не разработана, а практика промывок таких почв сложна и недейственна. Такие сероземные почвы с высокой концентрацией крупнокристаллического гипса широко представлены в странах Передней и Центральной Азии. В этих почвах гипс оказывает неблагоприятное влияние на развитие растений, резко снижает их водопроницаемость и ухудшает условия промывки. Он повышает осмотическое давление почвенных растворов, снижает доступность влаги, азота, других элементов питания растений. Попытки вовлечения таких почв в орошаемое земледелие остаются неэффективными, а способы оптимизации водного режима — слабо разработанными.

Существующие данные, однако, позволяют признать, что в настоящее время использование таких почв в орошаемом земледелии нецелесообразно из-за неэффективности значительных финансовых затрат и нецелесообразных расходов больших объемов поливных вод.

Весьма опасные ситуации на орошаемых массивах возникают при наличии почв, обогащенных мучнистым и мелкокристаллическим гипсом, на лёссовых отложения. При значительных концентрациях этих форм гипса и относительно легком гранулометрическом составе почв при орошении на полях или в действующих каналах происходит растворение гипса и провал оросительных вод в суффозионные воронки. В результате имеют место значительные потери воды из каналов и на полях, подъем грунтовых вод, вторичное засоление и заболачивание почв. Мероприятия по защите почв от таких явлений разработаны весьма неполно. Можно признать, что в этом случае актуально составление картограмм распределения массы и форм гипса, предварительное замачивание каналов и затопление полей на суффозионно опасных участках, тампонирование выявленных воронок, а также устройство дренажа для защиты территории от вторичного заболачивания и засоления.

При проектировании оросительных систем в предгорных и горных областях с засушливым и аридным климатом почвы, приуроченные к надпойменным и пойменным террасам речных долин и староречьям, не следует вводить в орошаемое земледелие, если они

подстилаются плотным галечниковым аллювием на глубине менее 20 см (3.9). Распашка таких скелетных почв приводит к потере плодородного мелкоземистого горизонта. Поэтому лучший способ использования таких почв без применения кольматажа — богарные естественные пастбища.

В Центрально-Азиатском регионе в результате переноса тонких лёссовых частиц воздушными потоками к основаниям крупных горных систем в зонах их разгрузки сформировались особые ландшафты — адыры. Последние непосредственно примыкают к южным склонам горных хребтов Центральной Азии и представляют собой аккумуляции многометровых толщ лёссовых отложений. Адыры отличаются глубоким залеганием грунтовых вод. Их почвы обладают значительной пористостью и хорошей водопроницаемостью. Долгое время почвы адыров использовали в качестве естественных пастбищ. Однако сравнительно недавно (в 1950–1960 годах) на этих массивах получило определенное развитие орошаемое земледелие с использованием систем поверхностного орошения (т.е. напуском по полосам и бороздам). В результате инфильтрации оросительной воды из ложа каналов в земляном русле, полос и борозд начался процесс интенсивной инфильтрации вертикальных потоков влаги. Это привело к быстрому подъему грунтовых вод, заполнению всей зоны аэрации гравитационной влагой, насыщению водой лёссовой толщи адыров. Поскольку последние в долинах тяготеют к горным системам и занимают командные гипсометрические уровни, насыщение водой таких структур привело к тому, что лёссовые толщи адыров пришли в движение и в виде мощных грязевых селей устремились вниз, уничтожая на своем пути кишлаки, высоковольтные линии передач, сады, виноградники. Так трагично и неудачно закончилась первая попытка освоения адыров в орошаемом земледелии.

При второй попытке освоения почв адыров отказались от применения всех видов поверхностного орошения. Был широко применен полив дождеванием и капельное с использованием закрытых трубопроводов и строгим нормированием воды, подаваемой малыми нормами на полив садовых деревьев и виноградников. При этом осуществляется постоянный контроль уровня грунтовых вод и общим водным балансом почв. В таких условиях, как показала современная практика, территории адыров могут неопределенно долго эффективно использоваться в орошаемом земледелии.

Неблагоприятная трансформация водного режима и деградация почв может быть обусловлена и воздействием агромелиоративных мероприятий (4). Нами установлены следующие опасные вторичные гидрологические ситуации, которые возникают в минеральных и органогенных почвах при их *агромелиорации.*

Так, применение глубокого мелиоративного рыхления гидроморфных суглинистых и глинистых почв без их предварительного дренажа (4.1) в первый год эксплуатации вызывает значительное повышение их пористости, снижение плотности, увеличение водопроницаемости. Однако это улучшение физических свойств почв в первый год рыхления на следующий год весной, в момент прохождения снегового паводка, оказывается причиной накопления огромных масс гравитационной воды во всей толще рыхления (т.е. в слое мощностью 80 см). Реализуется процесс заполнения водой поверхностного стока гигантского «гидрологического мешка», в котором вода находится в условиях длительного застойного режима. Эффект «гидрологического мешка» является причиной интенсивного оглеения всех слоев почвенного профиля: от поверхности до подошвы рыхления. Глееобразование усиливается еще и тем, что в процессе рыхления вдоль стойки рабочего органа рыхлителя в подпахотный слой поступают крупные фрагменты гумусированного пахотного горизонта.

Поэтому после глубокого рыхления недренированных гидроморфных почв существенно ухудшается их агрегатное состояние, накапливаются аморфные соединения железа на фоне резкого уменьшения содержания его окристаллизованных форм; на порядок уменьшается коэффициент фильтрации; увеличиваются общая удельная поверхность и водоудерживающая способность. Все это происходит в условиях длительного нахождения избыточной влаги в почвенном профиле, что исключает нормальный рост и развитие практически всех культур полевых севооборотов. Такие условия выдерживают только травы с коротким вегетационным периодом (например, редька масличная).

Избежать возникновения таких опасных деградационных явлений можно путем устройства до начала работ по глубокому рыхлению открытого или закрытого дренажа, обеспечивающего своевременный сброс избыточной гравитационной влаги. Это мероприятие всегда необходимо на гидроморфных почвах, имеющих выраженную

водосборную территорию. Вместе с тем глубокое рыхление может быть эффективным мероприятием на автоморфных почвах, приуроченных к массивам, не обладающим водосборной площадью.

Отрицательные явления, связанные с трансформацией гидрологических условий при выполнении агромелиоративных мероприятий, имеют место не только в минеральных, но и в торфяных почвах (4.2). Ранее мы подчеркивали, что основным условием стабильного функционирования этих почв является соответствие расходной и приходной статей баланса углерода. Любой фактор, вызывающий ускорение разложения органического вещества торфяных почв, может оказаться причиной их быстрого исчезновения. Это особенно опасно в песчаных полесских и моренных ландшафтах, в поймах при залегании под слоем торфа оглеенного песка, известковых, мергелевых и туфовых карбонатных отложений. В этом случае для защиты торфяных почв от быстрого разложения и улучшения условий сельскохозяйственного производства используют различные виды песчаных покрытий [Göttlich, 1980].

В пахотный горизонт вносят 300–600 т/га песка, который перемешивают при обработке с пахотным торфяным горизонтом, или песок размещают на поверхности почвы, где он образует самостоятельный пахотный горизонт мощностью 14–16 см (2100–2200 т/га песка). Как показали исследования [Зайдельман, Шваров, 2003], внесение песка резко меняет гидротермический режим осушенных торфяных почв. При этом происходит не замедление, как полагают многие авторы, а, напротив, ускорение биохимического разложения органического вещества всей толщи осушенных торфяных почв. Внесение песка в поверхностные горизонты сопровождается снижением теплоемкости и запасов влаги, увеличением температуропроводности, повышением температуры всех слоев почвенного профиля и грунтовых вод. Темпы сработки торфа возрастают на 20–50% по сравнению с черной (обычной) системой земледелия.

Предупредить деградацию почв в этом случае можно, как было показано выше (2.1), путем создания мелиоративных систем двустороннего действия, постоянно поддерживающих на осушенной территории луговой тип водного режима, внедрения травопольных севооборотов с большим числом полей, занятых травами, залужения осушенных торфяных почв, создания влажных лугов.

Из современных *агрономических* мероприятий (5), вызывающих резкую трансформацию гидрологического режима почв и их деградационные изменения, наиболее значительные масштабы приобрело уплотнение подпахотных горизонтов в результате обработки почв тяжелой техникой и применения большегрузных транспортных средств (5.1). Опасность этого явления, распространенного на огромных современных сельскохозяйственных массивах, связана с тем, что «укатка» почв происходит равномерно по всей площади. При этом отсутствует возможность сравнительной визуальной оценки ущерба, наносимого аграрному производству и экологическому состоянию почв.

Тем не менее, он значителен и связан, прежде всего, с принудительным перераспределением поверхностного и внутрипочвенного стока в результате уплотнения почв. Переуплотнение подпахотных горизонтов резко снижает их пористость, коэффициент фильтрации, объем вертикального тока влаги в грунтовой поток. При этом усиливаются поверхностный сток, эрозионная нестабильность, сток по пахотному горизонту и аккумуляция гравитационной влаги в почвах нижней трети склонов, а также в тальвегах и депрессиях. Длительный застой влаги на этих элементах рельефа может отрицательно влиять на рост и развитие растений, работу сельскохозяйственной техники, на свойства и режим почв. Следствием происходящих явлений часто являются интенсивное оглеение почв, их слитизация и оподзоливание.

Восстановление утраченного плодородия почв или профилактика предполагают прежде всего снижение удельного давления техники на почву (до 100 кПа и менее). Этого можно добиться, если современный машинный парк заменить на более легкую технику, если выполнять мероприятия по снижению давления на почву, используя сдвоенные колеса на тяжелых тракторах и машинах, снижая давление воздуха в шинах, применяя трактора и комбайны на гусеничном и полугусеничном ходу. Одновременно для устранения существующего уплотнения целесообразны кротование, неглубокое (поверхностное) рыхление (на глубину 40–50 см), травопольные севообороты.

При мелиорации почв пойменных террас большую опасность на территориях полирельефных, гривисто-равнинных, гривисто-притеррасных и гривистых пойм представляет сведение уремных лесов и, особенно, последующая распашка дерновых слоистых песчаных

почв (5.2). Это связано с тем, что в области гривистой поймы, приуроченной непосредственно к руслу реки, имеют место максимальные скорости потока паводковых вод. Легкие почвы этой области пойменной террасы в наибольшей степени подвержены водной эрозии. Этим объясняется основная защитная роль лесов, занимающих гривистую пойму («уремные» леса). Поэтому если русло реки незарегулировано и по территории ее поймы регулярно проходят весенние и осенние паводки, необходимо сохранение «уремных» лесов и легких песчаных почв в естественном целинном состояниях.

Это условие актуально еще и потому, что локальное разрушение и эрозия легких почв гривистой поймы приведет к резкому ухудшению расположенных ниже по течению реки луговых и пахотных угодий в результате их заноса малоплодородным песком.

Особого внимания заслуживают причины деградации почв из-за трансформации водного режима в результате *дорожного* строительства (6) и влияния *индустриального* производства на гидрологический режим почв (7).

В первом случае трансформация водного режима (6.1) происходит в результате пересечения линейными сооружениями (автомобильными дорогами, автострадами, дамбами, железными дорогами и др.) трасс естественных водотоков (постоянных и особенно временных).

В результате прекращения оттока в пространстве, ограниченном дамбами, насыпями, дорожным полотном, аккумулируются значительные объемы гравитационной влаги, вызывающие переувлажнение и заболачивание почв. Такие территории, как правило, вскоре выпадают из сельскохозяйственного производства и деградируют. Подобные широко распространенные явления возникают в результате строительства «глухих» сооружений без специальных водовыпусков. Для избежания заболачивания почв необходимо обеспечить свободный сброс воды через специальные водовыпускные отверстия в теле дамб, насыпей, дорог, других линейных сооружений («проколы») или путем откачки воды в задамбовое пространство насосами из локальных дренажных систем. В южных районах подобные мероприятия могут быть осложнены засолением и осолонцеванием.

Два последних случая деградации связаны со вторичным заболачиванием почв, обусловленным влиянием горной, аграрной и иной индустрии. При массовой шахтной добыче полезных ископаемых

(например, бурого угля в Подмосковном угольном бассейне) (7.1) по мере выемки угля и горных пород нередко происходит оседание поверхности и понижение гипсометрических уровней значительных территорий. В этом случае при отсутствии дренажных устройств грунтовые воды оказываются в толще верхних горизонтов профиля. Происходит вторичное заболачивание почв. Этот случай переувлажнения, его специфика и защитные мероприятия изучены и разработаны весьма неполно. Поэтому пока отсутствуют завершенные рекомендации состава необходимых профилактических мероприятий. Очевидно, однако, что здесь могут оказаться весьма эффективными кулисные планировки и землевание с использованием значительных масс почвогрунта, обеспечивающего подъем уровня поверхности.

Наконец, трансформация естественного гидрологического режима почв может происходить в результате затопления почв дренажными водами из шахт, карьеров и других выработок, а также сточными водами животноводческих ферм и бытовыми стоками (7.2). В этих случаях защитой почв от затопления и заболачивания могут оказаться мероприятия, направленные на управление движением разнообразных по происхождению и составу стоков. В прикладном отношении здесь особенно важен дифференцированный подход к оценке возможности использования вод с учетом их химических и иных особенностей. При этом дренажные, животноводческие и бытовые стоки могут быть использованы на полях фильтрации для полива преимущественно трав, аккумулированы в хранилищах и затем подвергнуты очистке.

Подводя итог рассмотрению негативных изменений почв в результате антропогенной трансформации их водного режима, следует подчеркнуть необходимость применения комплексной системы мероприятий по экологической защите почв и ландшафтов от деградационных изменений.

Такая система, предусматривающая экологическую защиту почв на трех уровнях, — ландшафтном, инженерно-строительном и почвенно-мелиоративном — была предложена нами ранее [Зайдельман, 1993, 2003]. В заключение следует признать, что происходящие изменения гидрологического режима могут по-разному влиять на продуктивность почв. Для учета и оценки таких изменений может быть рекомендована следующая схема (табл. 8.2), основанная на ана-

лизе изменения продуктивности почв при разной степени проявления деградационных изменений.

Таблица 8.2

Изменение продуктивности почв в результате трансформации гидрологического режима под влиянием антропогенной деятельности

№	Степень проявления деградационных изменений	Изменение продуктивности*
1	Деградационные явления не выражены; возможно улучшение плодородия почв, их свойств и режимов	Возможность увеличения продуктивности более 100%
2	Недеградационные изменения почв, существенно не влияющие на изменения их плодородия, свойств и режимов	Продуктивность на уровне примерно 100%
3	Слабодеградационные изменения почв, понижающие их плодородие, существенно не влияющие на их свойства и режимы	Снижение продуктивности не более чем на 20%
4	Интенсивная деградация почв, существенно снижающая их плодородие, ухудшающая их свойства и режимы	Снижение продуктивности до 50%
5	Резко выраженные деградационные изменения почв, плодородия, свойств и режимов	Снижение продуктивности до 80%
6	Экстремальные деградационные изменения почв, нередко сопровождающиеся их уничтожением	Неплодородные субстраты с продуктивностью 0–20%
6.1	Деградация почв, исключающая возможность их восстановления и использования территории для сельскохозяйственного производства	
6.2	Деградация, допускающая возможность создания плодородных вторичных почв на месте ранее исчезнувших	После восстановления плодородия — существенное увеличение продуктивности вторичных почв (~ 50%)

Примечание: * за 100% принята продуктивность почв со стоячим уровнем плодородия

8.2. Принципы и методы экологической защиты мелиорируемых почв и агроландшафтов от деградационных изменений по системе Ф.Р. Зайдельмана

Проблемы мелиорации за последние десятилетия далеко не всегда решались комплексно. Строилась в основном гидротехническая сеть, но, как правило, не внедрялись и не применялись агромелиоративные мероприятия по организации и ускорению стока; практически не ре-

шались проблемы экологической защиты мелиорируемых почв и охраны природной среды агроландшафтов. Вместе с тем природоохранные и экологические проблемы, связанные с мелиорацией, приобрели особо актуальный характер. Поэтому оказалось необходимым наметить принципы решения этих проблем и определить состав целесообразных мероприятий на основе известных отечественных и зарубежных данных.

Состояние и развитие человеческого общества в значительной мере обусловлены характером его взаимодействия с окружающей природной средой. Положительные и негативные следствия целесообразного или иррационального использования природных ресурсов достаточно широко известны. Гибель не только стран, но и цивилизаций на земном шаре нередко наступала в результате трагического нарушения постоянно действующих законов природы хозяйственной деятельностью человека. Е. Одуму (1968) принадлежит известное высказывание: «... человек живет лучше всего, когда он действует как часть природы... в противном случае, подобно неразумному паразиту, он может начать так использовать своего хозяина, что рискует погубить самого себя» (с. 130). Современная практика сельского хозяйства дает много достаточно ярких примеров, подтверждающих это положение.

Основные деградационные изменения мелиорируемых почв и способы их предотвращения были рассмотрены нами в предыдущем разделе. Вся сумма изложенных данных позволяет признать, что при любом взаимодействии с природой, и, в частности, при осуществлении проектов мелиорации необходимо всесторонне учитывать ее законы.

Выдающийся ландшафтовед Д.Л. Арманд (1975) подчеркивал, что «путь, достойный человека, состоит не в том, чтобы без конца «побеждать» природу, а в том, чтобы наладить с ней мирное сосуществование (с. 274)».

Наиболее активное воздействие на экологическое состояние природной среды в настоящее время оказывают индустриальные и сельскохозяйственные производства. Особенно велика роль мелиорации, изначально направленной на изменение естественных свойств и режимов почв. Это влияние существенно возросло в последнее время в результате разработки мощных способов воздействия на свойства почв и их режимы. В этих условиях необходимо выработать

систему эффективных и щадящих способов оптимизации плодородия почв, т.е. создать в агроэкологическом и экономическом смысле совершенную мелиоративную систему. Поскольку существуют различные определения этого понятия, основанные на приоритете строительных, экономических, природоохранных и других критериев, целесообразно принять следующее определение совершенной мелиоративной системы, отражающее современные задачи развития сельского, лесного, водного хозяйств и охраны природной среды. *Совершенной* следует назвать такую мелиоративную систему, которая позволяет при минимальных затратах получать максимальную прибыль, обеспечивая при этом экологическую защиту всех элементов агроландшафта и повышение (или сохранение при высоком исходном уровне) плодородия мелиорируемых почв.

Из этого следует, во-первых, что мелиорация является составной частью рационального земледелия и лесного хозяйства и, во-вторых, что мелиоративные мероприятия могут применяться только в условиях надежной экологической защиты всех элементов ландшафта от деградации.

Несомненно, в целом комплекс мероприятий по экологической защите агроландшафта при мелиорации по своей направленности и принципиальным задачам един. Различные мероприятия, дополняя друг друга, создают возможность стабильного сосуществования новых экосистем, обусловленных антропогенной деятельностью, с природными факторами. В этой связи необходимо подчеркнуть два аспекта экологической оценки почв. Во-первых, почва является «зеркалом ландшафта», непременным элементом биосферы. Охрана биосферы — обязательное условие сохранения дома, в котором формируется почва как самостоятельное естественно-историческое образование. Отсюда следует необходимость выполнения ландшафтно-охранных мероприятий, направленных на защиту природной среды в целом, на охрану ландшафта. Но одновременно почва является средой обитания биоты, домом, в экологических нишах которого существуют микроорганизмы и беспозвоночные животные, водоросли и высшие растения, другие живые организмы. Поэтому свойства почвы и ее режимы в значительной мере определяют важнейшие особенности среды обитания живых организмов. В прикладном отношении особый интерес и значение приобретают мероприятия по экологической защите почв как среды обитания высших растений, и в

частности, сельскохозяйственных культур. Поэтому всегда при мелиорации почв вопросы охраны природы необходимо рассматривать в двух аспектах: во-первых, в связи с экологической зашитой ландшафта как среды формирования почвенного покрова и местообитания человека и, во-вторых, в связи с экологической защитой почв как мест обитания биоты, в частности среды обитания сельскохозяйственных культур. Этот аспект в последние годы приобрел особо важное значение. Очевидно, что экологическая защита мелиорируемого ландшафта и почв связана с выполнением весьма разнообразных конкретных мероприятий.

В целом с учетом технологических вопросов для удобства анализа проблемы экологической защиты мелиорируемой территории представляется целесообразным рассмотреть соответствующие мероприятия в трех взаимообусловленных аспектах: ландшафтном, инженерно-мелиоративном (строительном) и почвенном. Такое деление позволяет более четко определить направленность и состав мероприятий по защите окружающей среды от деградации при мелиорации.

8.2.1. Мероприятия по экологической защите агроландшафта (ландшафтный блок)

Мероприятия по экологической защите агроландшафта (рис. 8.1) *направлены на охрану* как мелиорируемой территории в границах системы, так и всего ареала влияния системы, в том числе и за ее пределами. Это влияние может быть весьма значительным и затрагивать обширные площади за границами мелиоративной системы или быть локальным и практически не выходить за ее пределы. С первой ситуацией можно встретиться в ландшафтах с активным влиянием на почвенный покров грунтовых (аллохтонных) вод, например, в полесьях и в поймах гумидной зоны или в районах орошения юга СНГ, где возможен быстрый подъем их уровня при ирригации. Например, в полесьях влияние мелиоративных систем распространяется на расстоянии до 5–10 км от границ осушаемого массива в сторону внешнего водосбора. Вместе с тем это влияние в случае формирования почв на тяжелых, плохо водопроницаемых суглинках и глинах (покровных, моренных, лимно-гляциальных и др.) оказывается весьма локальным, не выходящим за пределы границ мелиоративных систем. Однако локальное загрязнение, например, в результате массирован-



Рис. 8.1. **Состав мероприятий по защите агроландшафта от деградационных изменений**

ного выброса нитратов в грунтовые воды, может вызвать евтрофикацию водотоков и водоемов на десятки километров ниже места их образования. Ландшафтные охранные мероприятия слагаются из ряда составляющих. Они, во-первых, заключаются в обосновании и реализации оптимального соотношения в ландшафте лугов и лесов, пашен и сенокосов, пастбищ, садов и т.д. Во-вторых, они предполагают защиту геологической среды, животного и растительного мира. Такие мероприятия направлены на защиту глубоких горизонтов и вод от загрязнения, создание благоприятных условий для сохранения целесообразной численности, видового состава и нормального существования животных и растений. Они строятся на учете трофического, миграционного (рис. 8.2) и других факторов, определяющих жизнедеятельность микрофлоры, беспозвоночных и позвоночных (земноводных, пресмыкающихся, птиц, млекопитающих). Их резервации должны быть организованы с учетом максимального радиуса активности в условиях конкретных местообитаний.

Особое место в системе экологических мероприятий по защите агроландшафта принадлежит фито- и особенно лесомелиорации. Интенсивное земледелие создает крупные открытые пространства, подверженные воздействию водной и ветровой эрозии, с ограничен-

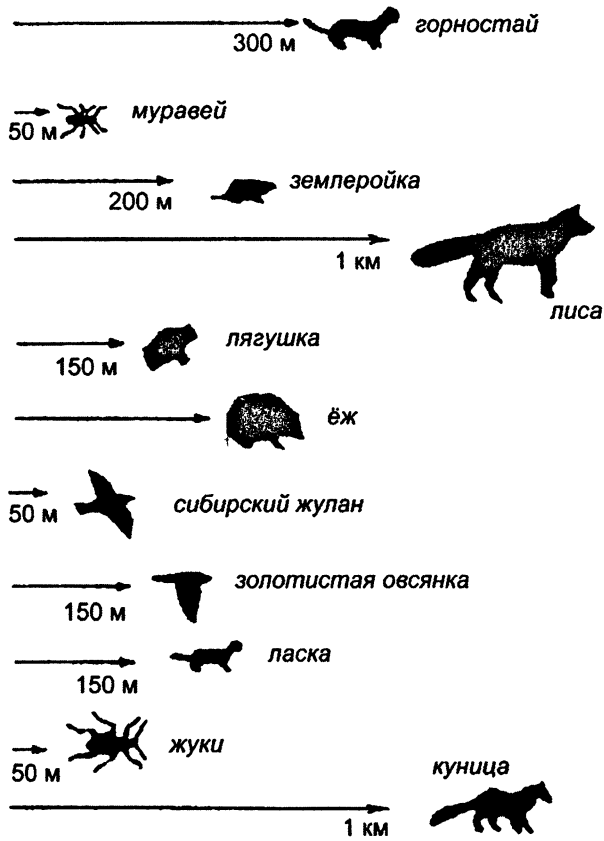


Рис. 8.2. **Максимальный радиус активности некоторых позвоночных и беспозвоночных животных лесной зоны [Ланге, Лехнер, 1989]**

ными экологическими нишами местообитания многих видов флоры и фауны. Поэтому здесь актуальны мероприятия по созданию лесных полос и куртин; сохранению или воссозданию коридоров миграции животных; организации заказников и охранных зон, искусственных водоемов различных назначений и размеров. Это могут быть пруды и мелкие водохранилища в искусственных выемках, балках и оврагах, а также незначительные мелкие водоемы (водные «глазки») в депрессиях рельефа, необходимые для обитания беспозвоночных, пресмыкающихся, рептилий, водоплавающих птиц.

Следует отметить особое значение сохранения и улучшения состояния естественных привлекательных памятников природы, украшающих среду обитания человека, нередко являющихся местообитаниями эндемичных животных. К ним относятся отдельно стоящие деревья, крупные камни и валуны, мелкие водотоки, родники и ключи, другие элементы ландшафтной архитектуры.

Наконец, в ландшафтном блоке мероприятий по экологической защите мелиорируемой территории особое значение приобретают способы защиты гидрографической сети и грунтовых вод от загрязнения, сокращения их добычи, изменения состава и иных негативных явлений.

Все эти мероприятия создают условия для формирования и сохранения необходимой экологической обстановки не только для защиты природы, но и для рационального существования человека в этой среде.

8.2.2. Мероприятия по экологизации инженерных конструкций на мелиоративных системах (инженерно-строительный или гидротехнический блок)

Второй аспект (блок) мероприятий по экологической защите элементов ландшафта имеет конструктивную направленность. Он предусматривает систему *мероприятий по экологической защите инженерно-мелиоративного уровня*, которые реализуются в пределах самой мелиоративной системы (рис. 8.3). Они направлены на экологизацию конструкций каналов, коллекторно-дренажной сети, транспортных линий, других специальных гидротехнических сооружений. Так, например, крупным проводящим каналом на осушительных системах придают меандрирующий характер, воспроизводя особенности русла естественных водотоков. Их крепление осуществляют не сплошным, а решетчатым сборным железобетоном, через который может легко прорастать травянистая растительность. Такое несложное мероприятие облегчает миграцию земноводных. В откосах каналов, а также в теле бетонных сооружений предусматривают устройство специальных гнезд для рыб. На открытых водотоках часто формируются искусственные зоны для укоренения и развития крупностебельной растительности (рогоза, камыша). Последние играют не только декоративную роль, но и являются местообитанием полезных микроорганизмов, простейших, земноводных. Так острова



Рис. 8.3. **Состав мероприятий по экологизации инженерных конструкций мелиоративных систем**

крупностебельной растительности способствуют, в частности, очистке воды от нефтепродуктов. Выполняются другие инженерно-мелиоративные мероприятия, непосредственно связанные со строительством. Мероприятия этого блока рассмотрены на рис. 8.3.

8.2.3. Мероприятия по защите мелиорируемых почв от деградационных изменений (почвенно-мелиоративный блок)

Особое значение имеют мероприятия по *экологической защите мелиорируемых почв*, непосредственного и часто единственного объекта мелиорации (рис. 8.4). Почвенный блок мероприятий в настоящее время остается наименее разработанным. Несомненно, однако, что многие серьезные просчеты, связанные с мелиорацией, имели место именно потому, что не были известны или не были учтены возможные негативные изменения почв в результате применения тех или иных конкретных способов мелиорации. Примеры такого рода достаточно многочисленны.

Негативное влияние мелиорации на почвенный покров особенно опасно еще и потому, что почвы — не только объект мелиорации и



Рис. 8.4. **Экологическая защита мелиорируемых почв**

естественный базис земледелия, но и «непременное условие существования для ряда сменяющихся человеческих поколений».

Вместе с тем в результате мелиорации устойчивые природные системы оказываются во вторичных, новых, несвойственных им термодинамических условиях. В гумидных ландшафтах на смену постоянному или временному анаэробиозу приходит преимущественно окислительный режим, определяющий трансформацию или интенсивное разрушение гумуса и минерального вещества почвы. Интенсифицируется действие деградационных факторов зонального почвообразования, приводящих к выносу в дренажный сток щелочноземельных и трехвалентных металлов, тонких фракций мелкозема, растворимых органических и органоминеральных соединений, т.е. не только элементов питания, но и естественных «клеев» почвенной структуры. Наряду с этим в некоторых дренированных почвах возможна активизация процесса аккумуляции извести и оксидов железа, вызывающих цементацию почвенного профиля, а иногда и токсикацию корневых систем растений.

Мелиорируемые почвы прежде всего и в наибольшей степени подвергаются трансформации под влиянием антропогенного воздействия. Поэтому вопрос об экологической защите мелиорируемых почв, несомненно, один из наиболее приоритетных вопросов охраны природной среды и мест обитания человека. При рассмотрении воп-

роса об экологической защите мелиорируемых почв имеется в виду прежде всего анализ их свойств и режимов как среды обитания сельскохозяйственных растений в системе почва-агрокультура. Эта задача может быть успешно решена только в том случае, если, во-первых, будут раскрыты эколого-гидрологические особенности почв в естественном состоянии и их изменения после мелиорации и, во-вторых, будут установлены негативные последствия применения *конкретных* способов мелиорации на почвенный покров мелиорируемых территорий.

Поэтому на первом этапе должна быть установлена эколого-гидрологическая и эколого-экономическая целесообразность мелиорации. На основе альтернативных проработок следует оценить варианты, при которых допускается использование почв в естественном (т.е. немелиорированном) состоянии или на фоне оптимизации их свойств и режимов в результате применения мелиоративных мероприятий. В последнем случае предусматривают мероприятия по экологической защите почв.

Успешное решение этой задачи возможно только в том случае, если она рассматривается применительно к совершенно конкретным способам мелиорации, реализуемым на фоне определенных генетических групп почв. В этом случае, очевидно, не может быть общих оценок. Рекомендации по экологической защите почв следует увязать не вообще с мелиорацией, а с конкретными способами ее реализации в условиях определенной системы землепользования, в строго определенной региональной почвенно-генетической и климатической обстановке. К сожалению, этому обстоятельству до последнего времени не уделяется необходимое внимание. В результате наиболее грубые просчеты, связанные с мелиоративным вмешательством, в последние десятилетия были обусловлены главным образом недостаточно глубоким пониманием влияния на природную среду конкретных способов мелиорации. Поясним это положение несколькими актуальными примерами. Так, в 60-х годах из-за широкого применения глубокого самотечного осушения произошла быстрая сработка торфяных почв, и на дневную поверхность вышли бесплодные кварцевые оглеенные пески, мергели и луговая известь. Значительные средства были инвестированы без какого-либо эффекта в ирригацию тяжелых крупнокристаллических гажевых (высокогипсоносных) почв Центрально-Азиатского региона.

В 1970–1980 гг. при осушении тяжелых слабоводопроницаемых заболоченных почв закрытый дренаж во влажные годы почв повсеместно оказывался недостаточно эффективным только потому, что в пределах Русской платформы не применялись простые, но абсолютно необходимые агромелиоративные мероприятия по организации и ускорению поверхностного и внутрипочвенного стоков, по раскрытию западин, отводу избыточных вод с помощью шлюкеров и траншейных фильтров. Было забыто важнейшее правило о необходимой комплексности гидротехнических, агромелиоративных и агрономических мероприятий, состав которых определяется конкретными почвенно-генетическими условиями.

Неоднозначное действие одного и того же способа мелиорации в различных почвенно-генетических условиях можно иллюстрировать на примере стабильности кротовых дрен в минеральных почвах глинистого состава. Так, земляные дрены, как правило, стабильны только в структурных почвах, но они быстро заплывают в бесструктурных подзолистых и болотно-подзолистых почвах.

Различно действие бестраншейного пластмассового дренажа, других гидротехнических приемов мелиорации.

При рассмотрении особенностей экологической защиты мелиорируемых почв следует особо остановиться на вопросах целесообразного применения агрономических мероприятий на мелиорируемых почвах. Практически полное устранение травопольных севооборотов и внедрение монокультур (особенно пропашных) послужили причиной деградации минеральных и особенно торфяных почв. Последней способствовало широкое применение тяжелой колесной техники с высоким удельным давлением на почву. Следствием этого явилось переуплотнение подпахотных горизонтов, перераспределение поверхностного стока, работа дренажа в нерасчетном, излишне напряженном водном режиме, переувлажнение части дренированной территории, другие опасные явления.

Особый интерес представляет вопрос о создании целесообразных в эколого-гидрологическом отношении систем обработки мелиорированных почв. В частности, зяблевая пахота на тяжелых осушенных почвах вызывает в пределах европейской части России известное переувлажнение пахотного горизонта и нарушение агрономических сроков их обработки. Переход на весеннюю вспашку в этом случае оказывается вполне оправданным. Однако на Дальнем Востоке в

условиях муссонного климата весенний и ранневесенний периоды весьма засушливы, и здесь, напротив, зябь оказывается весьма полезным агроэкологическим мероприятием. Примеры такого рода могут быть существенно дополнены и расширены. Изложенные данные, однако, показывают, что только на основе такого триединого (ландшафтного, гидротехнического, почвенного) подхода в составе проекта может быть разработан рациональный комплекс мероприятий по экологической защите мелиорируемых почв и ландшафтов от деградации.

В заключение необходимо подчеркнуть следующее актуальное положение, определяющее эффективность любых мелиоративных мероприятий. Почвы — основной объект земледелия и мелиорации. Их разнообразие в границах единой почвенно-климатической провинции детерминировано, прежде всего, разнообразием генезиса и состава почвообразующих пород. Это обусловлено тем, что почвы наследуют все основные свойства почвообразующих пород — их гранулометрический, химический и минералогический состав, физические и другие свойства. Но, кроме того, почвообразующие породы и процессы их формирования определяют рельеф территории, причины переувлажнения почв, заболачивания и засоления.

Выдающаяся роль почв и почвообразующих пород в решении задач земледелия и мелиорации в границах единой почвенно-географической провинции обусловлена и тем, что их генезис и состав практически повсеместно предопределяют целесообразность применения и параметры гидротехнических сооружений, агромелиоративных и агротехнических мероприятий или, напротив, эти факторы лимитируют или исключают возможность применения многих, казалось бы, традиционных способов мелиорации. Поэтому, ***если способ мелиорации не адекватен свойствам и режимам почв и почвообразующих пород, то он оказывается неэффективным или опасным для природной среды.***

Об авторе



Зайдельман Феликс Рувимович — доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Заслуженный деятель науки Российской Федерации, Лауреат государственной премии России, Заслуженный профессор Московского университета им. М.В. Ломоносова, Лауреат Ломоносовских премий за научную и педагогическую работы.

Основные направления работ — генезис гидрология, мелиорация и агроэкология почв, их рациональное использование и охрана. По этим вопросам им опубликовано 440 научных и научно-практических работ, в том числе 22 монографии, три учебника для ВУЗов, 15 научно-практических рекомендаций, внедрённых в производство, научное открытие.

Под его руководством и при его участии издан ряд агроландшафтных экологических почвенно-мелиоративных карт Российского Нечерноземья.

Постановлением Президиума Российской академии наук от 21.03.2006 №90 он награждён Золотой медалью имени В.В. Докучаева за серию работ «Генезис и фундаментальные основы мелиорации почв».

Список литературы

1. **Аверьянов С.Ф., Юневич Д.П., Игнатова В.М.** Глубокое осушение низинных болот // Гидротехника и мелиорация. 1960, № 5.
2. **Аверьянов С.Ф.** Расчет понижения и подъема грунтовых вод при осушении системой каналов (дрен) // Гидротехника и мелиорация. 1957. № 12.
3. **Астапов С.В., Долгов С.И.** Руководство по почвенно-мелиоративным, исследованиям в степных и лесостепных районах европейской части СССР. Часть II. Методы мелиоративной характеристики почв. М.: Минсельхоз СССР, 1953.
4. **Бирюкова И.Н., Тарунина Е.Ф.** Роль ботанического состава и степени разложения торфяной залежи в процессах ее всплывания в водохранилищах // Природа болот и методы их исследования. Л.: Наука, 1967.
5. **Богдановская-Гиенэф И.Д.** Прогнозирование всплывания торфа на затопленных болотах // Труды 3-го Всесоюзного гидрологического съезда. 1959. Т. 4.
6. **Булавко А.Г., Янковский К.Ф.** Методические рекомендации по определению размеров зоны влияния мелиоративных систем на уровень грунтовых вод прилегающих земель. Минск: ЦНИИКИВР Минводхоза СССР, 1977.
7. **Долгов С.И.** Изучение водно-физических свойств торфяных толщ при помощи режущих цилиндров // Труды Почвенного института им. В.В. Докучаева. 1950. Т. 31.
8. **Докучаев В.В.** К вопросу об осушении земель вообще и, в частности, об осушении Полесья (1875) // Избр. соч. I–VIII т. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1949. Т. I.
9. **Докучаев В.В.** Наши степи прежде и теперь (1892) // Избр. соч. I–VIII т. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1949. Т. VI.
10. **Докучаев В.В.** Природные почвенные зоны. Сельскохозяйственные зоны. Почвы Кавказа // Избр. соч. I–VIII т. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1949. Т. VI.
11. **Дюшофур Ф.** Основы почвоведения. Эволюция почв. М.: Прогресс, 1970.
12. **Завалишин А.А.** Несколько наблюдений к познанию почв с близким глеевым горизонтом // Сб. памяти акад. К.Д. Глинки. М.: Изд-во АН СССР, 1928.
13. **Зайдельман Ф.Р.** Методика определения некоторых физических и водно-физических свойств каменистых почв // Почвоведение. 1957. № 1.

14. **Зайдельман Ф.Р.** Водный режим и физические свойства заболоченных пойменных почв южной части таежной зоны // Почвоведение. 1963. № 4.
15. **Зайдельман Ф.Р.** Водный режим тяжелых оглеенных и неоглеенных дерново-подзолистых почв // Почвоведение. 1968. № 8.
16. **Зайдельман Ф.Р.** Особенности изучения физических свойств заболоченных и болотных почв // Агрофизические методы исследования почв. М.: Наука, 1966.
17. **Зайдельман Ф.Р.** Рекомендации по диагностике степени заболоченности минеральных почв Нечерноземной зоны РСФСР и оценке целесообразности их осушения (пособие к ВСН-33-2.1-84).- М.: Издание мин-ва мелиорации и водного хозяйства СССР, 1987.
18. **Зайдельман Ф.Р.** Изучение физических свойств почв на объектах осушения (дополнения к пособию «Изучение водно-физических свойств почв для мелиоративного строительства). Пособие к ВСН-33-2.1.02-84. «Почвенные изыскания для мелиоративного строительства».- М.: Издание Мин-ва мелиорации и водного хозяйства СССР, 1988.
19. **Зайдельман Ф.Р.** Рекомендации по изысканиям, проектированию, выполнению строительных и эксплуатационных работ по глубокому мелиоративному рыхлению и кротованию почв Нечерноземной зоны РСФСР. М.: Государственный агропромышленный комитет Нечерноземной зоны РСФСР, 1989.
20. **Зайдельман Ф.Р.** Мелиорация заболоченных почв Нечерноземной зоны РСФСР. Справочная книга по методам почвенно-мелиоративных изысканий и исследований. М.: Колос, 1981.
21. **Зайдельман Ф.Р.** Гидрологический режим почв Нечерноземной зоны.-Л.: Гидрометеоиздат, 1985.
22. **Зайдельман Ф.Р.** Эколого-мелиоративное почвоведение гумидных ландшафтов.- М.: Агропромиздат, 1991.
23. **Зайдельман Ф.Р.** Естественное и антропогенное переувлажнение почв. Деградация, использование и его роль в формировании почв.– СПб.: Гидрометеоиздат, 1992.
24. **Зайдельман Ф.Р.** Деградация торфяных почв при пожарах и рекультивация пирогенных образований // Мелиорация и водное хозяйство. 2003. № 3.
25. **Зайдельман Ф.Р.** Гидрологический фактор антропогенной деградации почв и способы ее защиты / Под ред. Г.В. Добровольского. – М.: Изд-во МГУ, 2002.
26. **Зайдельман Ф.Р.** Гидроморфные почвы // Почвоведение. 2003. № 8.
27. **Зайдельман Ф.Р.** Мелиорация почв как элемент рационального землепользования и их защиты от деградации // Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере. – М.: Наука, 2003.

28. **Зайдельман Ф.Р.** Генезис и проблемы классификации почв со светлыми кислыми элювиальными горизонтами // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2004. № 2.
29. **Зайдельман Ф.Р.** Морфоглеегенез, его визуальная и аналитическая диагностика // Почвоведение. 2004. № 4.
30. **Зайдельман Ф.Р.** Диагностика гидроморфизма почв и оценка степени заболоченности // Агроэкологическая оценка земель. Проектирование адаптивно-ландшафтных система земледелия и агротехнологии. – М.: Росинформагротех, 2002.
31. **Зайдельман Ф.Р.** Лессиваж и его связь с гидрологическим режимом почв // Почвоведение. 2007. № 2.
32. **Зайдельман Ф.Р., Банников М.В.** Водный режим и генезис псевдофибровых и оглеенных почв полесий // Почвоведение, 1996. № 10.
33. **Зайдельман Ф.Р. Виноградов В.Г.** Исследование водного режима и физических свойств заболоченных дерново-подзолистых почв тяжелого механического состава // Почвоведение. 1964. № 7.
34. **Зайдельман Ф.Р., Виноградов В.Г.** О нижней границе доступной для растений влаги в торфяных почвах // Почвоведение. 1960. № 7.
35. **Зайдельман Ф.Р., Оглезнев А.К.** Определение степени заболоченности почв по свойствам конкреций // Почвоведение. 1971. № 10.
36. **Зайдельман Ф.Р., Лыков М.Г.** Оглеение почв, их плодородие и проблема дренажа // Почвоведение. 1975. № 9.
37. **Зайдельман Ф.Р., Нарокова Р.П.** Влияние солевых аккумуляций в осушаемых почвах на урожай // Гидротехника и мелиорация. 1976. № 9.
38. **Зайдельман Ф.Р., Рыдкин Ю.И.** Элементы эколого-гидрологической оценки серых лесных неоглеенных и оглеенных почв // Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 1983. № 7.
39. **Зайдельман Ф.Р., Рыдкин Ю.И., Коломиец А.** Водный режим серых лесных неоглеенных и оглеенных почв // Почвоведение. 1985. № 2.
40. **Зайдельман Ф.Р., Селищев А.А.** Морфология новообразований пойменных почв лесостепи и их диагностическое значение // Почвоведение. 1979. № 7.
41. **Зайдельман Ф.Р., Селищев А.А.** Гидрологический режим пойменных почв лесостепи, заболоченных жёсткими грунтовыми водами // Почвоведение. 1981. № 6.
42. **Зайдельман Ф.Р., Замыцкий В.А., Плавинский В.А.** и др. Эколого-гидрологические основы глубокого мелиоративного рыхления почв. М.: Изд-во МГУ, 1986.
43. **Зайдельман Ф.Р., Болатбекова К.С.** и др. Руководство по составлению агроландшафтных экологических почвенно-мелиоратив-

ных карт Нечерноземной зоны Российской Федерации. М.: Изд-во МГУ, 2002.

44. **Зайдельман Ф.Р. Старцев А.Д.** Окислительно-восстановительный потенциал и гидротермический режим неоглеенных и оглеенных почв на пермском карбонатном элювии // Биологические нации. 1987. № 8.
45. **Зайдельман Ф.Р., Тюльпанов В.И, Ангелов Е.Н., Давыдов А.И.** Почвы мочарных ландшафтов — формирование, агроэкология и мелиорация. – М.: Изд-во МГУ, 1998.
46. **Зайдельман Ф.Р., Никифорова А.С.** Генезис и диагностическое значение новообразований почв лесной и лесостепной зон. – М.: Изд-во МГУ, 2001.
47. **Зайдельман Ф.Р., Шваров А.С.** Пирогенная и гидротермическая деградация торфяных почв, их агроэкология, песчаные культуры земледелия, рекультивация.– М.: Изд-во МГУ, 2002.
48. **Засоленные почвы России.** Колл. Монография /Под ред. Л.Л. Шишова, Е.И. Панковой.– М.: ИКЦ «Академкнига», 2006.
49. **Качинский Н.А.** Физика почвы. – М.: Высшая школа, 1970.
50. **Костяков А.Н.** Основы мелиорации. М.: Сельхозгиз, 1951.
51. **Куликова Г.Г.** Краткое пособие к ботаническому анализу торфа. – М.: Изд-во МГУ, 1974.
52. **Кулаковская Т.Н.** Агрохимические свойства почв и их значение, использование удобрений. – Минск: Урожай, 1960.
53. **Кунце Г.** Загрязнение почвы железом и заохривание труб.–М.: Агропромиздат, 1986.
54. **Лундин К.П.** Водные свойства торфяной залежи.– Минск: Урожай 1964.
55. **Масляная М.К., Терентьева А.А., Жильцова Т.В.** К методике агрохимического картирования торфяных почв // Агрохимия. 1977. № 9.
56. **Монахов А.К.** Методические указания по производству культуртехнических изысканий с применением материалов аэрофотосъемок.– Л.: СевНИИГиМ, 1974.
57. **Сапожников Н.А., Корнилов М.Ф.** Научные основы системы удобрения в Нечерноземной полосе.– Л.: Колос, 1969.
58. **Скалабан В.Д.** К методике определения основных водно-физических свойств почв при почвенных обследованиях // Метеорология и гидрология. 1987. № 2.
59. **Роде А.А.** К вопросу об оподзоливании и лессиваже // Почвоведение. 1964. № 17.
60. **Роде А.А.** Основы учения о почвенной влаге. М.: Гидрометеоиздат, 1951.
61. **Рекомендации по известкованию осушаемых торфяных почв.** — Минск: БелНИИМВХ, 1977

62. **Скрынникова И.Н.** Почвенные процессы в окультуренных торфяных почвах.– М.: АН СССР. 1961.
63. **Соколова Т.А., Дронова Т.Я., Талпешта И.И.** Глинистые минералы в почвах.– Тула: Гриф и К.. 2005.
64. **Сукачев В.Н.** Болота, их образование, развитие и свойства. –Л.: Ленинградский лесной ин-т, 1926.
65. **Теория и методы физики почв**: Колл. Монография / Под ред. Е.В. Шеина и Л.О. Карпачевского.– Тула: Гриф и К, 2007.
66. **Теория и практика химического анализа почв** / Под ред. Л.А. Воробьевой. – М.: Геос, 2006.
67. **Тонконогов В.Д.** Глинисто-дифференцированные почвы Европейской России.– М.: Изд-во РАСХН, 1999.
68. **Тюремнов С.Н.** Торфяные месторождения.– М.: Недра, 1976.
69. **Шраг В.И.** Руководство по производству почвенно-мелиоративных и культуртехнических изысканий для составления проектных заданий осушения и сельскохозяйственного освоения болотных и заболоченных земель. М.: Минсельхоз РСФСР, 1959.
70. **Эггельсманн Р.** Руководство по дренажу. –М.: Колос, 1984.
71. **Ярусов С.С.** Действие извести в длительных полевых опытах. — М.: ВАСХНИЛ, 1939.
72. **Baden V.J., Eggelsmann R.** Maulwurfdränung im Moor // Z. f. Kulturtechnik, 1961, 2.
73. **Beers W.F.J.** Einige Nomogramme für die Berechnung von Drän- und Grabenabständen. Verlag Wasser und Boden, Hamburg, 1969.
74. **Benecke P., Renger M.** Ergebnisse von Felddürchlessigkeitsmessungen mittels der Bohrlochmethode nach Hooghoudt – Ernst // *Z.* f. Kulturtechn. u. Flurbereinig. 1969. Bd 10.
75. **Donat J.** Saugstrangentfernung bei Dränungen in Mineralböden // Wasser — Wirtschaft und Technick, 1935. Bd 2. N 18–20.
76. **Duchafour Ph.** Lessivage et podsolisation // Rev. forestiere franc. 1951. N 10.
77. **Dudal R.** Etude morphologique et genetique d'une sequence de sols sur limon loessique // Extrait de Agrichulture. 1953. Octobre.
78. **Ehwald E., Krüger W.** Zusammenhänge zwischen Wasserdürchflässigkeit und anderen Bodenparametern in Lehm und Tieflehmböden. Arch. Acker — u. Pflanzenbau u. Bodenk. 1976. Bd 20. N 2.
79. **Eggelsmann R.** Dränanleitung für Landbau, Ingenieurbau, Landschaftsbau. 2. Aufl. Verlang Paul Parey. Hamburg und Berlin, 1981.
80. **Fly C.L.** The soil drainability factor in land classification // J. Irrigation and Drainage Division 1961. Vol. 82. N 3.
81. **Gebahardt E.** Untersuchungen über die Wasserdurchlässigkeit von Niedermoortorfen als Grundlange für die Bemessung der Dränabstande. Diss. Berlin (DAL), 1964.

82. **Gora A., Schwarz A., Werner D.** Verfahrens- und Bemessungsgrundlagen für die Komplex Melioration Staunässer Böden. Transact. Of the 10-th Intern. Congress of Soil Sciences, Moscow, 1974. V. 10.
83. **Göttlich K., Kuntze H.** Moorkultivierung, Nutzung und Verwendung in Land und Forstwirtschaft. Moor und Torfkunde. Stuttgart, 1980.
84. **Hanus H., Knoch H.G.** Beitrag zur Methodik der Wasserpermeabilitätsmessung an ungestörten Bodenproben // Z.f. Pflanzenern., Düngung u. Bodenk., 1965. Bd 111.
85. **Hooghoudt S.W.** Irreversibly dessicated peat, clayly peat and peaty clay soils; the determination of the degree of reversabolity. 4-th Intern. Congress of Soil Science, Amsterdam, 1950. V. 2.
86. **Illiner K.** Geräte zur stratigrafischen Untersuchung von Mooren // Z. f. Landeskultur, 1960. H. 4.
87. **Janert H.** Der bodenkundliches Practicum. Berlin, 1953.
88. **Kraus G.** Bodenart und Bodentyp, insbesondere Wasser- und Luftaushalt der gleyartigen Bodenbildungen // Forstl. Yahrbuch.m 1939.
89. **Kubiena W.L.** Bestimmungsbuch und Systematic der Böden Europas. Stuttgart: 1953.
90. **Kuntze H.** Prozesse der Bodenentwicklung auf Sandmischkulturen // Berichte der Sektion IV der DGMT. Hannover, 1987. Bd 17.
91. **Laatsch.** Dynamik der mittelluropaischen Mineralboden. — Dresden–Leipzig, 1957.
92. **Mückenhausen E.** Le pseudogley // Sci. du sol. 1963. N 1.
93. **Neudecker J.** Dränspülanlagen zur Beseitigung von abgelagerten Ocker // Österreichischer Wasserwirtschaft. 1956. Bd 8.
94. **Rimpau T.O.** Bewirtschaftung des Ritter gutes Gunrau, insbesondere des Niederungsmoor durch Dammkultur. Berlin, 1887.
95. **Schulte-Karring H.** Die meliorative Bodenbewirtschaftung. Anleitung zur fachgerechten und nachhaltigen Verbesserung der Staunässeböden. Druck R. Warlich. Ahrweiler, 1970.
96. **Segeberg H.** Moorsakung durch Grundwasserabsenkung und deren Vorausberechnung mit Hilfe empirischer Formeln // Z. f. Kulturtechnik, 1961, 2.
97. **Zeidelman F.R.** Neubibdungen hydromorpher Mineralboden der UdSSR, ihre Klassification und diagnostische Bedeutung // Geoderma, 1974. № 12.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3

Глава 1

Почвы как объект мелиорации 8

1.1. Автоморфные и гидроморфные почвы 8

1.2. Причина и признаки почвенного гидроморфизма; почвообразовательные процессы 10

1.3. Причины заболачивания почв 16

1.3.1. Признаки заболачивания почв грунтовыми и напорными водами . . . 17

1.3.2. Признаки заболачивания почв атмосферными и намывными склоновыми водами. 20

1.3.3. Признаки заболачивания почв намывными русловыми водами 22

1.3.4. Признаки болотных почв, возникающих в результате зарастания водоемов 24

1.3.5. Признаки биогенного заболачивания почв 26

Глава 2

Почвообразовательные процессы; методы диагностики минеральных почв по их морфологическим свойствам . 28

2.1. Почвообразовательные процессы, формирующие горизонты почв гумидных ландшафтов 28

2.1.1. Процесс глееобразования и его роль в формировании почв со светлыми кислыми элювиальными горизонтами. Общие положения . 28

2.1.1.1. Глееобразование (кислотный гидролиз) в условиях постоянного анаэробного, застойного водного режима и его воздействие на минеральный состав почв 29

2.1.1.2. Глееобразование (кислотный гидролиз в анаэробно-аэробной среде) в условиях застойно-промывного водного режима как причина возникновения светлых кислых элювиальных горизонтов 31

2.1.1.3. Кислотный гидролиз в аэробных условиях на фоне промывного водного режима и его воздействие на минеральный состав почв. 33

2.1.2. Лессиваж как почвообразовательный процесс и причина образования светлых кислых элювиальных горизонтов 38

2.1.3. Процесс подзолообразования 39

2.1.4. Дерновый процесс 40

2.1.5. Процесс торфообразования. 40

2.1.6. Процесс гидрогенной аккумуляции металлов в профиле почв 42

2.1.7. Аллювиальный процесс 42

2.1.8. Поёмный процесс 42

2.2. Горизонты почв Нечерноземной зоны: индексы, номенклатура, диагностические признаки 43

2.3. Классификация и диагностика оглеенных и глеевых горизонтов по системе Ф.Р. Зайдельмана 52
2.3.1. Морфология и диагностика глеевых горизонтов 56
2.4. Конкреционные и неконкреционные новообразования, их генезис и диагностическое значение при эколого-мелиоративных изысканиях и исследованиях минеральных и торфяных почв 61
2.4.1. Марганцево-железистые и железистые конкреционные новообразования 64
2.4.1.1. Круглые или эллипсовидные гладкие конкреции 64
2.4.1.1.1. Ортштейны 64
2.4.1.2. Овальные плоские крупные раковистые железистые конкреции . . 75
2.4.1.2.1. Дерновая руда 75
2.4.1.2.2. Рудяк 76
2.4.1.2.3. Железистые коры 77
2.4.1.3. Трубчатые конкреции 79
2.4.1.3.1. Крупные трубчатые конкреции 79
2.4.1.3.2. Мелкие трубчатые конкреции 81
2.4.1.3.3. Железистые корневые чехлики 81
2.4.2. Гумусовые конкреционные новообразования 81
2.4.2.1. Плоские черные угловатые гумус-железистоалюминиевые конкреции 82
2.4.3. Известковые конкреции 83
2.4.3.1. Известково-глинистые кольчатые вскипающие конкреции 84
2.4.3.1.1. Коричневато-серые известково-глинистые кольчатые конкреции 84
2.4.3.1.2. Светло-серые спайно-кольчатые известково-глинистые конкреции 85
2.4.3.2. Круглые или эллипсовидные вскипающие железисто-известковые (Fe–Ca) конкреции 86
2.4.3.2.1. Бурые и коричневато-серые железисто-известковые ортштейны. 86
2.4.3.3. Известковые вскипающие конкреции 87
2.4.3.3.1. Известковые крупные угловатые раковистые конкреции 88
2.4.3.3.2. Белесые известковые крупные овальные конкреции (журавчики) 91
2.4.3.3.3. Известковые мелкие угловатые конкреции 92
2.4.3.3.4. Белесовато-охристые известковые крупные овально-угловатые конкреции 93
2.4.4. Железистые цементационные, глинистые натечные, неконкреционные аморфные и кристаллические новообразования . . 95
2.4.4.1. Плоские горизонтальные железистые и гумус-Fe-Al цементационные новообразования 95
2.4.4.1.1. Псевдофибры 95
2.4.4.1.2. Темные иллювиальные гумус-Fe–Al цементационные горизонты 99
2.4.4.1.3. Ортзанд 99
2.4.4.2. Глинистые натечные новообразования 104
2.4.4.2.1. Кутаны 104
2.4.4.3. Свободные аморфные новообразования 111
2.4.4.3.1. Ржаво-охристые пятна аморфной гидроокиси железа 111

2.4.4.3.2. Темноокрашенные пятна гидроокиси марганца 111
2.4.4.3.3. Горизонты аккумуляции гидроокиси железа 111
2.4.4.4. Свободные кристаллические новообразования 112
2.4.4.4.1. Вивианит — фосфорнокислая закись железа. Керчинит. Бераунит 112
2.4.4.4.2. Гипс 112
2.4.4.4.3. Пирит 113
2.4.5. Неконкреционные карбонатные новообразования 113
2.4.5.1. Рыхлые кальциевые новообразования (луговая известь, луговой мергель) 114
2.4.5.2. Плотные кальциевые новообразования (луговой туф) 114
2.4.5.3. Рыхлые органоминеральные аккумуляции (сапропель) 116
2.5. Методы диагностики типов болот и торфов по морфологическим признакам 117
2.5.1. Определение в полевых условиях степени разложения и ботанического состава торфов; сапропели 117
2.5.1.1. Типы болот. Растительность как индикатор типа болот 118
2.5.1.2. Классификация торфов С.Н. Тюремнова 119
2.5.1.3. Макроскопическое определение степени разложения торфа по методам П.Д. Варлыгина и Л. Поста 122
2.5.1.4. Определение вида торфа по составу растений-торфообразователей 126
2.5.1.5. Диагностика видов сапропелей и их свойства 130

Глава 3

Методы изучения физических свойств почв 131

3.1. Буры для зондирования и бурения минеральных почв 132
3.2. Буры для зондирования торфяных почв и торфяной залежи 135
3.3. Определение влажности минеральных гидроморфных почв буровым термостатно-весовым методом в модификации Ф.Р. Зайдельмана 137
3.4. Определение плотности торфяных почв по методу Ф.Р. Зайдельмана . . . 139
3.5. Определение плотности торфяных почв в условиях субаквального режима по методу К. Илльнера 141
3.6. Особенности определения плотности набухающих почв и их твердой фазы 142
3.6.1. Определение плотности твердой фазы торфов, набухающих минеральных и засоленных почв с применением инертных жидкостей по методу А.Ф. Вадюниной и З.А. Корчагиной 145
3.7. Определение плотности, пористости, влажности, воздухоносной пористости каменистых почв по методам Ф.Р. Зайдельмана. Визуальная диагностика переуплотнения минеральных почв 147
3.7.1. Определение плотности каменистых почв и расчет пористости . . . 148
3.7.2. Определение влажности каменистых почв, расчет запаса влаги и воздухоносной пористости 152
3.7.3. Визуальное определение переуплотнения минеральных почв 153

3.8. Лабораторные и полевые методы определения гидрологических констант гидроморфных почв 154
3.8.1. Определение влажности устойчивого завядания растений на торфяных почвах методом вегетационных миниатюр в модификации Ф.Р. Зайдельмана и В.Г. Виноградова 154
3.8.2. Определение предельной полевой влагоемкости (ППВ) 155
3.8.3. Методы определения влагоемкости гидроморфных почв 158
3.8.3.1. Определение наименьшей влагоемкости торфяных почв по методу С.И. Долгова в модификации И.Н. Скрынниковой . . . 159
3.8.3.2. Определение динамической влагоемкости и водоотдачи заболоченных и болотных почв по методу Ф.Р. Зайдельмана . . . 160
3.8.3.3. Расчет коэффициента водоотдачи 164
3.8.4. Определение наименьшей влагоемкости по методу А.В. Николаева 165
3.8.5. Определение наименьшей влагоемкости и водоотдачи на малых монолитах по методу В.Д. Скалабана 166
3.9. Методы определения водопроницаемости в условиях близкого залегания верховодки или грунтовых вод 168
3.9.1. Определение вертикальной водопроницаемости методом заливаемых квадратов по Н.А. Качинскому 170
3.9.2. Метод определения вертикальной водопроницаемости инфильтрометром Кировгипроводхоза 172
3.9.3. Расчет $K_ф$ при его определении методами инфильтрации. Учет поправок на гидравлический градиент, температуру и капиллярное растекание 174
3.10. Метод определения $K_ф$ по скорости восстановления уровня воды в скважине. Латеральная (или боковая) фильтрация. 176
3.10.1. Определение $K_ф$ по восстановлению уровня воды в скважине в неоплывающих и необводненных с поверхности почвогрунтах по методу Д. Доната—Г.Д. Эркина 176
3.10.2. Метод определения коэффициента фильтрации по восстановлению уровня воды в скважине в обводненных и оплывающих почвогрунтах в модификации Ф.Р. Зайдельмана . . 180
3.11. Определение вертикальной и латеральной фильтрации почв по методу Г. Хануса 183
3.12. Определение $K_ф$ расчетными методами 186
3.13. Оценка дренирующей роли почвенных пор по натяжению влаги 187
3.14. Коэффициенты фильтрации минеральных и торфяных почв и их изменения после осушения 188
3.15. Определения $K_ф$ пахотных горизонтов и дренажных засыпок. Работы по изучению физических свойств почв на объектах-аналогах . . . 190
3.16. Выбор метода определения $K_ф$ в зависимости от свойств почв и способов осушения. Повторность, точность и интерпретация опытных данных 192

Глава 4

Методы обоснования мелиоративных и агромелиоративных мероприятий 195

4.1. Осадка и всплывание торфяных почв при гидротехническом строительстве 195
4.1.1. Осадка торфяных почв после строительства дренажа 195
4.1.2. Оценка возможности всплывания торфяных почв при затоплении по методу И.Д. Богдановской-Гиенэф, И.Н. Бирюковой и Е.Ф. Тарунииной 198
4.2. Методы определения устойчивости кротовых дрен и кротовин в минеральных почвах 199
4.2.1. Определение устойчивости кротовых дрен по методу Г. Янерта . . . 201
4.2.2. Определение устойчивости кротовых дрен по методу С.В. Астапова 201
4.2.3. Определение устойчивости кротовых дрен по методу Ф.Р. Зайдельмана 202
4.2.4. Целесообразность применения кротового дренажа и кротования в почвах различного генезиса 204
4.3. Методические особенности глубокого мелиоративного рыхления почв . . 207
4.3.1. Минеральные почвы Нечерноземной зоны как объект глубокого рыхления 208
4.3.2. Условия проектирования и выполнения глубокого мелиоративного рыхления почв 212
4.4. Методы определения междренных расстояний при проектировании осушительных систем 218
4.4.1. Определение междренных расстояний по набуханию почвы. Содовый метод Г. Янерта 219
4.4.2. Метод определения междренных расстояний по гранулометрическому составу почв 221
4.4.3. Расчет междренных расстояний по водно-физическим свойствам почв 225
4.4.3.1. Метод расчета междренных расстояний по С.Ф. Аверьянову и Я. Ротэ 226
4.4.3.2. Расчет междренных расстояний по Хугхаудту 227
4.4.4. Степень заболоченности минеральных почв как фактор рационализации расчета дренажа 230
4.4.4.1. Модули и объемы дренажного стока осушительных систем на почвах разной степени заболоченности 233
4.4.4.2. Оценка влияния степени заболоченности почв на междренные расстояния по методу Р.К. Панта и Э.А. Соовика . . 235
4.5. Методы защиты осушаемых торфяных почв от гидротермической и пирогенной деградации; рекультивация пирогенных образований 237
4.6. Определение скорости разложения органического вещества осушаемых торфяных почв методом капроновых капсул 239
4.7. Рекультивация плодородия на массивах пирогенных образований по методу Ф.Р. Зайдельмана 241
4.8. Оценка проходимости сельскохозяйственной техники как показателя необходимости дренажа почв по методу Н.А. Качинского, А.Ф. Вадюниной и П.У. Бахтина 249

Глава 5

Методы изучения химических свойств почв и вод для обоснования проектов мелиорации. 253

5.1. Методы диагностики и профилактики закупорки дрен гидроокисью железа. 253
5.2. Полевая диагностика опасности заохривания дрен по почвенным новообразованиям по методу Ф.Р. Зайдельмана. 263
5.3. Метод количественного определения содержания закисного железа в грунтовых водах в полевых условиях. 265
5.4. Определение коэффициента заболоченности минеральных почв по методу Ф.Р. Зайдельмана и А.К. Оглезнева 267
5.5. Аналитическая диагностика степени заболоченности почв на кислых, нейтральных и выщелоченных породах 269
5.5.1. Определение железа несиликатных соединений по методу Мера-Джексона 270
5.5.2. Определение железа «аморфных» (оксалаторастворимых) соединений по методу Тамма 276
5.5.3. Определение железа, связанного с органическим веществом, по методу Баскомба 280
5.5.4. Система показателей группового состава соединений железа в почве 283
5.5.5. Методы отбора образцов почв разного генезиса и состава для диагностики их степени заболоченности. 284
5.6. Эколого-мелиоративная оценка влияния остаточного оглеения, повышенных концентраций окиси железа, извести и гипса на сельскохозяйственные растения. 287
5.6.1. Влияние оглеения на плодородие осушаемых почв 288
5.6.2. Влияние аккумуляций гидроксида железа на продуктивность растений 289
5.6.3. Влияние извести в почвах на продуктивность растений 291
5.6.3.1. Разрушение зон железистой и карбонатной цементации. 293
5.6.4. Гипс в почвах и его влияние на урожай 294
5.7. Известкование осушаемых почв 295
5.7.1. Известкование минеральных гидроморфных почв. 295
5.7.2. Известкование органогенных почв 297
5.7.3. Уточнение дозы известкового материала в зависимости от его свойств 298
5.7.4. Дозы извести для специализированных севооборотов. 299
5.8. Особенности определения доз удобрений для дренированных минеральных и торфяных почв 299
5.9. Химический состав вод дренажного стока и вынос элементов при дренаже почв разного генезиса. 301
5.10. Определение типа химизма и степени засоления почв, их эволюции и расчет состава солей по данным анализа водных вытяжек 303
5.10.1. Определение типа химизма засоленных почв. 304
5.10.2. Оценка степени засоления почв по содержанию токсичных солей по методу Н.И. Базилевич, Е.И. Панковой 306

5.10.3. Прогноз эволюции засоленных почв в условиях орошаемого земледелия . . . 308
5.10.3.1. Оценка эволюции почв по водно-солевому балансу по методу В.А. Ковды . . . 308
5.10.3.2. Методика оценки направленности эволюции засоленных почв по эпюрам распределения водорастворимых солей . . . 309
5.10.3.3. Инверсия солей при вторичном засолении почв . . . 310
5.10.4. Оценка эволюции почв орошаемых массивов по методу Б.Б. Полынова . . . 311

Глава 6
Принципы и методы изучения эколого-гидрологического режима заболоченных почв, их классификация, диагностика и целесообразность мелиорации . . . 313

6.1. Принципы построения эколого-гидрологической классификации почв по степени их заболоченности для решения мелиоративных и агрономических задач по методу Ф.Р. Зайдельмана . . . 316
6.2. Определение индекса степени заболоченности по методу Ф.Р. Зайдельмана . . . 322
6.3. Эколого-гидрологическая классификация почв и их диагностика по степени заболоченности (на примере Восточно-Европейской равнины) по методу Ф.Р. Зайдельмана . . . 327
6.4. Эколого-экономический расчет целесообразности осушения почв разной степени заболоченности по методу Ф.Р. Зайдельмана . . . 329
6.5. Диагностика целесообразности осушения почв на объектах реконструкции по методам А.Ю. Перцовича и О.Л. Веденина . . . 357
6.6. Исследования естественных и агрогенных факторов экологической пестроты мелиорируемых почв по методу Ф.Р. Зайдельмана . . . 362
6.7. Прогноз изменения режима грунтовых вод на неосушаемом водосборе под влиянием сопредельных мелиоративных систем по методу Ф.М. Бочевера, А.Г. Булавко и К.Ф. Янковского . . . 377
6.8. Гидрогеохимические исследования затопленных почв и грунтов дна водоемов съемными контейнерами по методу Ф.Р. Зайдельмана и Я.М. Гаджиева . . . 380

Глава 7
Почвенно-мелиоративные изыскания и мелиоративное районирование почв . . . 384

7.1. Почвенно-мелиоративные изыскания на разных стадиях проектирования мелиоративных систем . . . 384
7.1.1. «Обоснование инвестиций» в строительство объектов мелиорации . 385
7.1.2. «Проект» . . . 386
7.1.3. «Рабочий проект» . . . 389
7.1.4. «Рабочая документация» . . . 391

7.2. Содержание почвенно-мелиоративных карт для обоснования проектов мелиорации 392
7.2.1. Топографическая основа, масштаб и выработки при почвенно-мелиоративных изысканиях, категории сложности 394
7.2.2. Почвенные шурфы, прикопки, скважины 395
7.2.3. Обоснование почвенных контуров 396
7.2.4. Отбор образцов при почвенной съемке, объем лабораторных работ, виды анализов 397
7.2.5. Полевая съемка 400
7.3. Культуртехнические и ботанические изыскания. Содержание ботанико-культуртехнических карт 405
7.3.1. Культуртехнические изыскания с использованием материалов аэрофотосъемки по методу А.К. Монахова 410
7.4. Состав работ по изучению водно-физических свойств на объектах мелиорации 415
7.5. Районирование почв в мелиоративных целях 418
7.6. Крупномасштабные почвенно-мелиоративные карты 422

Глава 8
Диагностика, прогноз и профилактика негативных последствий мелиоративных мероприятий и деградации почв 433

8.1. Деградационные изменения почв в результате мелиорации, их прогноз и система профилактических мероприятий 434
8.2. Принципы и методы экологической защиты мелиорируемых почв и агроландшафтов от деградационных изменений по системе Ф.Р. Зайдельмана 459
8.2.1. Мероприятия по экологической защите агроландшафта (ландшафтный блок) 462
8.2.2. Мероприятия по экологизации инженерных конструкций на мелиоративных системах (инженерно-строительный или гидротехнический блок) 465
8.2.3. Мероприятия по защите мелиорируемых почв от деградационных изменений (почвенно-мелиоративный блок) 466

Об авторе 471

Список литературы 472

Учебное издание

Зайдельман Феликс Рувимович

МЕТОДЫ ЭКОЛОГО-МЕЛИОРАТИВНЫХ ИЗЫСКАНИЙ И ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЧВ

Редактор издательства *А.Б. Желдыбин*
Компьютерная верстка *Ю.В. Калиничева*

Подписано в печать 02.06.2008. Формат 60x84 1/16.
Печать офсетная. Бумага офсетная. Усл. печ. л.31,00.
Уч. изд. л. 30,50. Тираж 500 экз. Заказ № 773.

Федеральное государственное унитарное
Ордена Трудового Красного Знамени
Предприятие «Издательство «КОЛОС»
107996 Москва, ул. Садовая-Спасская, 18
Наш сайт в интернете: ***www.koloc.ru***

Отпечатано в ГУП «Клинцовская городская типография»
243140, г. Клинцы Брянской области, пер. Богунского полка, 4а
Тел.: (48336) 4-24-56, 4-04-18, 4-35-89

СПИСОК ОПЕЧАТОК

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
57	11 снизу	табл. 3.42	табл. 2.4
134	3 снизу	Рязаньгидропроводхоз	Рязаньгипроводхоз
185	16 сверху	рис. 3.26	рис. 3.28
240	подпись к рис.	подпись к рис. 4.17	заменить на подпись, приведённую под рис. 4.18
251	подпись к рис.	подпись к рис. 4.18	заменить на подпись, приведённую под рис. 4.17
288	11 снизу	табл. 5.5	табл. 5.7
289	2 сверху	табл. 5.5	табл. 5.7
305	12 снизу	табл. 5.11	табл. 5.12
305	9 снизу	табл. 5.12	табл. 5.13
307	7 снизу	табл. 5.13	табл. 5.14
422	6 сверху	первый форзац	снять указание на № форзаца
422	7 и 8 сверху	второй форзац	снять указание на № форзаца
430	6 сверху	ивзоне	и в зоне
460	8 снизу	сосуществование	сосуществование»