

ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ

Кафедра почвоведения, агрохимии и земледелия

**Управление процессами природообустройства и водопользования**

Методические указания по выполнению практических  
и самостоятельных работ

Новосибирск 2023

УДК 556

ББК 26.22

*Кафедра почвоведения, агрохимии и земледелия*

Составители: к.с.-х. н., доц. Блескина Л.М.

к.б.н., доц. Широких П.С.

Рецензент: ст. преподаватель С.А. Бабарыкина

**Управление процессами природообустройства и водопользования:**  
Методические указания по выполнению практических и самостоятельных работ / Новосиб.гос.аграр.ун.- т, Агроном.фак.; сост.: Л.М. Блескина, П.С. Широких - Новосибирск 2023.- 53 с.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 20.03.02 Природообустройство и водопользование.

Утверждены и рекомендованы к изданию учебно – методическим советом агрономического факультета (протокол № 7 от 17. 03.2023 г.).

## **Введение**

В методических указаниях рассматриваются вопросы обустройства и управления экосистем. В сельскохозяйственном производстве это может быть агроценоз и одним из важнейших его компонентов является почва. Главное свойство любой почвы – плодородие. В современном земледелии управление плодородием должно осуществляться на основе соответствующих моделей. Модель плодородия почвы представляет собой сочетание экспериментально установленных показателей плодородия, находящихся в тесной корреляции с величиной урожая. Ее разрабатывают для конкретных почвенно – климатических условий выращивания сельскохозяйственных культур их продуктивности.

## **Понятия об управлении**

Природообустройство направлено на создание нового качества территории как окружающей среды. Под качеством окружающей среды в данной местности понимают ценностную характеристику функционального единства существенных ее свойств, новую внутреннюю и внешнюю определенность, относительную устойчивость, отличие ее от одних местностей и сходство с другими. Мелиорация земель различного назначения придает им новое качество в соответствии с требованиями конкретных землепользователей, например, в сельском хозяйстве -- это прежде всего плодородие почвы, при этом почва выступает как среда обитания для сельскохозяйственных растений. При мелиорации земель лесного фонда учитываются требования леса к окружающей среде. При мелиорации земель населенных пунктов учитываются требования градостроительства к рельефу местности, прочности грунтов как оснований сооружений, глубинам и качеству подземных вод, контактирующих с подземными сооружениями; учитываются санитарно-гигиенические требования к качеству воздуха, почв, вод и другие. При рекультивации земель стоит задача восстановления качества окружающей среды, нарушенного при интенсивном природопользовании (добыче полезных ископаемых, рубке леса и т. п.). Требования к качеству восстанавливаемых территорий также зависят от вида будущего их использования. Природоохранное обустройство территорий также главной своей целью ставит создание окружающей среды нового качества. Достижение нового качества окружающей среды, поддержание его на требуемом уровне осуществляется созданием техноприродных систем, т. е. природных систем, в которые человек встраивает искусственные блоки в виде сооружений, элементов и т. п.

Воздействие человека на ландшафты обязательно сопровождается управлением природными процессами. С помощью управления человек поддерживает заранее выбранное состояние природной или техноприродной

системы. Это может быть прежнее или вновь приобретенное состояние, обеспечивающее устойчивость геосистемы, необходимый режим функционирования, выполнение целевой производственной функции. Систему, осуществляющую функцию управления, называют системой управления. Она состоит из двух подсистем: управляющей (субъект) и управляемой (объект). Управляющая подсистема выдает управленческие команды и имеет инструменты управления, а управляемая -- принимает эти команды и согласно им через средства управления перестраивается. Направление связи от субъекта к объекту -- прямая связь, а от объекта к субъекту -- обратная.

К субъектам управления природопользованием или природообустройством относят научные, проектные, производственные, природоохранные, контролирующие организации.

Объектом управления выступают геосистемы и техноприродные системы различного масштаба и уровня.

Управлять природопользованием или природообустройством сложно, так как, во-первых, геосистемы - открытые системы, непрерывно обменивающиеся веществом и энергией, а во-вторых - это сложные системы в функционировании, динамике и эволюции. Здесь происходят изменения под влиянием естественных и техногенных факторов, когда процессы саморегулирования и самоорганизации геосистем сопровождаются процессами управления.

Управление может быть мягким и жестким. Мягкое управление основано на использовании субъектом естественных механизмов саморегулирования объекта. Например, окашивание, прополка сорняков, создание лесополос, рыхление, залужение. Жесткое управление осуществляется прямым техногенным воздействием субъекта на управляемый объект, строительством инженерных систем природообустройства (мелиоративных, рекультивационных, водохозяйственных, противостихийных и др.).

При организации управления природными процессами и поддержания заданных режимов необходимо разбираться в цепочках природных связей в геосистемах, обратимых или необратимых реакциях в ландшафте, устойчивости или изменчивости его состояний, скоростных условиях протекания процессов, видах локальной и региональной трансформации. Имея подобную информацию о цепочках взаимосвязей, выбирают наиболее приемлемые места, воздействуя на которые преобразуют компоненты геосистемы. Логическая последовательность воздействий и образует систему управления природными процессами. Необходимого эффекта в управлении добиваются через изменение свойств природных компонентов и через поддержание требуемых режимов их функционирования.

В управляющей деятельности техноприродными системами выделяют два взаимосвязанных этапа: опережающего и оперативного управления. Опережающее управление заключается в изучении объекта, проектировании

технических систем, строительстве техноприродных систем, а оперативное - в регулировании процессов в природно-технических системах. Через механизмы обратной связи информация о состоянии природно-технической системы передается человеку, который корректирует дальнейшее управление. Основная роль аналитика в управлении процессами функционирования природно-технических систем в ландшафтах--научное обоснование рациональных форм природопользования и природообустройства, выбор мягких или жестких форм регулирования, предварительное исследование ландшафта.

*Опережающее управление* - это комплекс последовательных и связанных между собой действий, состоящих:

из сбора исходной информации, содержащей объективные сведения о современном и будущем состоянии природных геосистем: их функционировании, динамике, эволюции, ресурсах ландшафта, фактических антропогенных нагрузках и загрязнении компонентов геосистем; использования литературных данных, фондового накопления стационаров, проектов, аэро- и космической съемки, топографических и специальных карт, природно-хозяйственного мониторинга; анализа полученной информации на соответствие изучаемого ландшафта экономическим потребностям общества, планируемых видов хозяйственной деятельности, сопутствующих антропогенных нагрузок, вероятных последствий при переводе ландшафта в другое состояние;

ландшафтно-экологического прогноза, позволяющего предсказать последствия антропогенного природопользования и природообустройства; рассмотрения для определения направлений, скорости и масштабов предстоящих изменений геосистем разных уровней; типов изменений: целенаправленных (осознанно изменяемых), нецеленаправленных (сопутствующей взаимосвязи), естественных (без участия человека). Прогнозирование можно осуществлять на математических моделях, описывающих изменение природных геосистем под влиянием проектируемых инженерных объектов и разных видов использования;

оценки изменений геосистем для выбора наилучшего варианта хозяйственного использования территории. У субъекта выделяют два основных направления: технологическое (производственное) и социально-экологическое. Технологическая оценка - степень пригодности геосистемы для какого-либо вида хозяйственной деятельности (инженерно-строительной, сельскохозяйственной, лесохозяйственной и т.д.). Социально-экологическая оценка рассматривает изменения природной среды для жизни и деятельности людей;

проектирования техноприродных систем - выбора территории для их размещения, назначения наиболее рациональных параметров и режимов

эксплуатации технических сооружений и устройств, нормирования нагрузок на геосистемы и окружающие территории с учетом их устойчивости, прогнозирования соотношений между техникой и природой, разработки природоохранных мероприятий;

экологической экспертизы, заключающейся в согласовании планов хозяйственного развития с природно-ресурсным потенциалом территории. При этом критериями оценки являются правовые нормы, ГОСТы, СНиПы, нормативы ПДК и др.

В заключение проекта дают выводы и рекомендации экологического анализа.

*Оперативное управление* - это регулирование, т. е. частный случай управления. Опережающее управление позволяет спланировать перевод геосистемы (ландшафта) из природного состояния в техноприродное (геотехническое). В дальнейшем работа геотехнической системы невозможна без оперативного управления. С помощью регулирования воздействуют на геотехническую систему, обеспечивая ее проектное состояние. Для этого контролируют измерения управляемых переменных и сравнивают их с заданными характеристиками. Регулирующая система ликвидирует отклонения в объекте регулирования.

Оперативное управление техноприродными системами возможно через цепи природных связей, круговороты в разных системах (почва - растение и др.) или через изменение процессов, свойств компонентов геосистемы.

Круговороты и процессы в техноприродных системах можно регулировать с помощью технических сооружений, устройств, различных технологических приемов. Жесткое управление осуществляют с помощью инженерно-технических сооружений, мягкое - с помощью природных механизмов саморегулирования ландшафта, управления плодородия почвы и т. д.

Задание 1:

1. Изучить раздел: «Понятие об управлении»
2. Ответить на вопросы:
  - а) цель природообустройства (привести примеры)
  - б) функции управляющей системы
  - в) функции управляемой системы
  - г) что относится к субъектам и что к объектам

- д) связи от субъекта к объекту
- е) мягкое и жесткое управление
- ж) критерии оценки техноприродных систем
- и) оперативное управление

## **УПРАВЛЕНИЕ ПЛОДОРОДИЕМ ПОЧВЫ**

Под плодородием почвы в современном земледелии следует понимать способность почвы служить культурным растениям средой обитания, источником и посредником в обеспечении земными факторами жизни и выполнять экологические функции. Плодородная почва должна соответствовать следующим требованиям:

обеспечивать оптимальные условия водно-воздушного и теплового режимов;

содержать достаточное количество подвижных форм питательных веществ;

трансформировать питательные вещества почвенных запасов и запасов, вносимых извне, и накапливать их;

обладать сильно выраженным фитосанитарным эффектом, проявляющимся в устранении фитотоксичных веществ и микроорганизмов, фитопатогенов и установлении равновесия между полезной и вредной энтомофауной в межвегетационные периоды, быть относительно чистой от семян и вегетативных органов размножения, сорных растений;

быть устойчивой к различным факторам разрушения и пригодной для применения современных технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

Плодородие почвы — одно из объективных условий производства урожая, однако величина урожая зависит также от растения, климата, исторического времени и деятельности земледельца. Для реализации своего потенциала каждая культура требует конкретных почвенных условий, продолжительности вегетационного периода с определенными тепло- и влагообеспеченностью, своевременного и качественного выполнения технологических приемов возделывания растения с учетом уровня развития научно-технического прогресса. Поэтому плодородие почвы не всегда

характеризуется уровнем урожая. В то же время при прочих равных условиях урожай культуры будет определяться плодородием почвы.

Особое место плодородия среди факторов урожая обусловлено тем, что применение удобрений, орошения, новых технологий выращивания культур и т. д. лимитируется прежде всего уровнем почвенного плодородия как посредника в их использовании. Возрастает и экологическое значение плодородия в повышении устойчивости почвы — как элемента биосферы — к деградации.

Уровень плодородия одних и тех же типов и разновидностей почвы во многом зависит от их пространственного расположения в пределах ландшафта, характеризующегося рельефом, крутизной и экспозицией склонов, гидрологическим режимом, химическим составом почвообразующих пород и др. Учитывая различный уровень плодородия почв агроландшафтов, необходимо дифференцированно подходить к их использованию в земледелии.

Для количественной оценки плодородия почвы в земледелии используют показатели, которые находятся в корреляционной связи с урожаем: агрофизические, биологические и агрохимические.

*Агрофизические* показатели плодородия почвы представлены гранулометрическим и минералогическим составом, структурой, плотностью, порозностью, воздухоемкостью и мощностью пахотного слоя. К *биологическим* показателям относятся содержание, запасы и состав органического вещества почвы, активность почвенной биоты, фитосанитарное состояние почвы. Группу *агрохимических* показателей плодородия составляют содержание питательных веществ, реакция почвенной среды и поглотительные свойства почвы.

Показатели плодородия в большинстве случаев взаимосвязаны. Одни из них могут быть отнесены к основополагающим, которые определяют состояние всех почвенных процессов. К ним относятся гранулометрический и минералогический составы, органическое вещество и фитосанитарное состояние почвы. Другие показатели плодородия, такие как активность почвенной биоты, агрофизические и агрохимические, в значительной мере являются производными от вышеназванных.

Наряду с понятием «плодородие почвы» в агрономии широко используют термин «окультуривание почвы». Под *окультуриванием*



понимают улучшение природных свойств почвы посредством проведения агромелиоративных мероприятий. Наряду с этим выделяют понятие «окультуривание поля», связанное с культур техническим воздействием на пахотные земли, увеличением размера контуров поля, выравниванием, удалением камней и т. д. с целью создания благоприятных условий для работы сельскохозяйственной техники.

В современном земледелии понятие «окультуривание почвы» применимо к вновь осваиваемым почвам с очень низким естественным плодородием (подзолистые, солонцы и др.), к сильно-смытым почвам при вовлечении в пахотный слой неплодородного подпахотного горизонта. В этих случаях, по существу, приходится не воспроизводить, а создавать плодородие. Такая же задача возникает при восстановлении почвы в местах горных или торфяных разработок. Поскольку на этих ландшафтах прежде были культурные плодородные почвы, их восстановление называют *рекультивацией*. По мере приобретения присущих обрабатываемым почвам свойств в последующем осуществляют воспроизводство плодородия окультуренных и рекультивированных почв.

При земледельческом использовании почвы ее плодородие снижается, поскольку для производства растениеводческой продукции расходуются органическое вещество и элементы минерального питания, ухудшаются условия водно-воздушного режима, фитосанитарное состояние, микробиологическая деятельность и т. д. Поэтому возникает необходимость управления плодородием почвы в интенсивном земледелии. Оно основано на нормативно-технологической основе. Это означает определение оптимальных параметров показателей плодородия почвы в конкретных условиях производства и технологий воспроизводства оптимальных уровней плодородия.

Воспроизводство плодородия почвы бывает простое и расширенное. Возвращение почвенного плодородия к исходному первоначальному состоянию означает *простое воспроизводство*. Создание почвенного плодородия выше исходного уровня — это *расширенное воспроизводство* плодородия. Простое воспроизводство применимо для почв с оптимальным уровнем плодородия. Расширенное воспроизводство реализуется для почв с низким естественным уровнем плодородия, не способным обеспечить достаточную эффективность факторов интенсификации земледелия. Расширенное воспроизводство плодородия дерново-подзолистых почв — обязательное условие расширенного воспроизводства продукции земледелия вообще.

Управление плодородием почвы в современном земледелии должно осуществляться на основе соответствующих моделей. Модель плодородия почвы представляет собой сочетание экспериментально установленных показателей плодородия, находящихся в тесной корреляции с величиной урожая. Модель плодородия разрабатывается для конкретных почвенно-климатических и производственных условий выращивания сельскохозяйственных культур и их продуктивности.

Воспроизводство плодородия почвы в современном земледелии осуществляют двумя способами: вещественным и технологическим. Первый предполагает применение удобрений, мелиорантов, пестицидов и т.д., второй — севооборота, промежуточных культур, различных приемов обработки почвы и способов посева и др. Эти пути направлены на достижение единой цели, хотя механизм их действия различен.

Вещественные факторы воспроизводства оказывают наиболее сильное и многообразное воздействие на плодородие почвы. Технологическое воздействие не в состоянии компенсировать материальные потери почвенного плодородия; его эффект основан на мобилизации вещественных ресурсов почвы и краткосрочен. В итоге это приводит к снижению постоянных источников почвенного плодородия, хотя и обеспечивает кратковременное повышение урожаев сельскохозяйственных культур.

Естественно-научной основой теории воспроизводства плодородия почвы является закон возврата как частное проявление всеобщего закона сохранения вещества и энергии.

В интенсивном земледелии осуществляется воспроизводство всех показателей плодородия, однако первостепенное значение принадлежит воспроизводству наиболее важных из них для конкретных почв и условий производства. Для большинства типов почв интегральным показателем плодородия являются содержание органического вещества и его качественное состояние.

Особое положение органического вещества в плодородии интенсивно используемой почвы объясняется прежде всего функциональной зависимостью процессов почвообразования органического вещества. Развитие почвы как естественно-исторического тела — следствие постоянно происходящих процессов синтеза и разрушения органического вещества. Органическое вещество обеспечивает непрерывность проявления всех звеньев круговорота веществ и энергии при почвообразовании.

Органическое вещество оказывает большое влияние на комплекс важнейших агрономических свойств почвы: биологические, агрофизические и агрохимические.

Особое значение приобретает энергетическая, почвозащитная и экологическая роль органического вещества, выступающего как средство организации почвенной среды и факторов создания урожая.

Принципиальное значение имеет экспериментально установленный и теоретически обоснованный факт возрастающего значения органического вещества почвы по мере дальнейшей интенсификации земледелия.

Среди основных факторов управления органическим веществом почвы (растение, удобрение, обработка почвы, мелиорация) ведущее значение принадлежит растению. Через него прямо и косвенно используются дополнительные количества факторов жизни растений. Растение обуславливает перевод последних в биологически связанное состояние, наиболее ценное по своей природе, безвредное экологически, снабженное необходимым запасом энергии.

Органическое вещество почвы — это прежде всего часть урожая растений, подвергшаяся значительному биохимическому превращению. Для существенного повышения содержания органического вещества почвы требуется время. Поэтому в системах земледелия необходимо исходить из реальных возможностей воспроизводства органического вещества пахотных почв. Эти возможности реализуются наиболее эффективно при долговременном, планомерном и систематическом воздействиях комплекса практических приемов по воспроизводству органического вещества.

Задание 2:

1. Изучить раздел: « Управление плодородием почвы»

2. ответить на вопросы:

а) что такое плодородие почвы

б) требования , предъявляемые к плодородным почвам

в) воспроизводство плодородия почв

г) вещественный и технологический способы воспроизводства плодородия почв.

## ВОСПРОИЗВОДСТВО АГРОФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ

*Гранулометрический и минералогический составы.* Твердая фаза почвы представляет собой смесь механических элементов трех видов: минеральных, органических и органо-минеральных. В минеральных почвах преобладают минеральные механические частицы разных формы и размера, разного химического и минералогического составов.

Относительное содержание в почве механических элементов (фракций) называется *гранулометрическим составом*.

Механические частицы почвы больше 1 мм в диаметре именуются скелетом почвы, частицы меньше 1 мм — мелкоземом. Мелкозем подразделяют на физический песок (частицы больше 0,01 мм) и физическую глину (частицы меньше 0,01 мм).

В зависимости от содержания физического песка и физической глины почвы бывают песчаными, супесчаными, суглинистыми (легкие, средние, тяжелые), глинистыми (легкие, средние, тяжелые), а в зависимости от величины сопротивления, оказываемого при обработке, почвы по гранулометрическому составу условно подразделяют на легкие (песчаные и супесчаные), средние (легко- и среднесуглинистые) и тяжелые (тяжелосуглинистые и глинистые).

Гранулометрический состав почвы определяет прежде всего сопоглотительные (сорбционные) свойства. Тонкодисперсные частицы из-за большой абсолютной и удельной поверхности обладают высокой емкостью поглощения. С измельчением частиц возрастают их гигроскопичность, влагоемкость, пластичность, липкость и другие технологические свойства. Частицы менее 0,001 мм обладают четко выраженной коагуляционной способностью. Эта способность механических тонкодисперсных частиц исключительно важна при структурообразовании. Вследствие высокой поглотительной способности они содержат наибольшее количество гумуса.

*Плотность почвы* уменьшается по мере увеличения содержания физического песка в ее составе.

*Валовой химический состав* разных гранулометрических фракций почвы закономерно изменяется независимо от типа почвы. Так, по мере увеличения дисперсности частиц в них резко уменьшается содержание кислорода и возрастает количество железа, алюминия, кальция, магния, калия и натрия.

Частицы меньше 0,001 мм — наиболее ценная часть рыхлых пород и почв, поскольку в них содержатся основные запасы зольных питательных элементов.

В минералогическом составе более крупных фракций механических частиц содержатся преимущественно минералы типа кварца и полевых шпатов. В более дисперсной части почвы находятся мусковит и другие слюды. В илистой фракции преобладают вторичные минералы: монтмориллонит, нонтронит, галлуазит, каолинит, иллит. Они положительно влияют на сорбционные свойства почвы и ее питательный режим, так как обладают сложной кристаллической решеткой и богаты кальцием.

Наступление *физической спелости почвы* (способность почвы распадаться на мелкие комки, крошиться при определенной влажности) зависит от гранулометрического состава при прочих равных условиях. Почвы легкого гранулометрического состава поспевают раньше, чем тяжелого. Пределы пластичности почвы в решающей степени определяются содержанием физической глины. С увеличением физической глины предел пластичности расширяется. Аналогично гранулометрический состав влияет на твердость почвы. Почвы с высокой твердостью оказывают сильное сопротивление рабочим органам почвообрабатывающих машин и препятствуют росту проростков и корней растений.

*Набухаемость почвы* происходит за счет оболочек связанной воды, которые формируются вокруг коллоидных и глинистых частиц. Эти оболочки уменьшают силу сцепления между частицами, раздвигают их и способствуют увеличению объема почвы. Величина и характер набухания почвы зависят от ее минералогического состава, в частности от содержания вторичных минералов, имеющих подвижную кристаллическую решетку (монтмориллонит).

*Усадка* — сокращение объема почвы при высыхании. Величина усадки обусловлена теми же факторами, что и набухание. Чем больше набухание, тем сильнее усадка почвы. Усадку измеряют в процентах по отношению к исходному объему. При сильной усадке в почве образуются многочисленные трещины, происходит разрыв корней растений, усиливается физическое испарение влаги.

*Липкость* как технологическое свойство почвы ухудшает качество обработки. С увеличением содержания физической глины липкость почвы растет, достигая наибольших значений на глинистых почвах.

Гранулометрический состав как фактор плодородия пахотных почв оказывает существенное влияние на ее *продуктивную способность*.

В большинстве случаев наиболее благоприятное сочетание агрофизических, биологических и агрохимических показателей плодородия – в почвах среднего гранулометрического состава. Следует иметь в виду, что для разных почвенных типов, сильно различающихся по плодородию, оценка гранулометрического состава как показателя плодородия может значительно варьировать. Например, наиболее высокое плодородие черноземов соответствует, как правило, тяжелому гранулометрическому составу. Для дерно-подзолистых почв, сформировавшихся в зоне достаточного и избыточного увлажнения, благоприятнее более легкий гранулометрический состав.

При длительном земледельческом использовании почвы ее гранулометрический и минералогический составы не претерпевают существенных изменений. Это служит надежной основой, определяющей диапазон изменения многих свойств почвы и плодородия в целом, для разработки моделей плодородия. Кроме того, гранулометрический состав не требует воспроизводства. Исключение составляют защищенный грунт или небольшие площади земель, где гранулометрический состав можно изменять в ту или иную сторону, добавляя песок или глину.

*Структура почвы.* Это важный показатель физического состояния плодородной почвы. Он определяет благоприятное строение пахотного слоя почвы, ее водные, физико-механические и технологические свойства и водно-гидрологические константы.

Частицы твердой фазы, как правило, склеиваются в комочки (агрегаты). Способность почвы распадаться на агрегаты называют *структурностью*, а различные по величине и форме агрегаты — *структурой*. По классификации С. А. Захарова, по форме различают следующие типы структуры: глыбистую, комковатую, ореховатую, зернистую, столбчатую, призматическую, плитчатую, пластинчатую, листоватую, чешуйчатую.

Черноземы в естественном состоянии характеризуются отчетливо выраженной зернистой структурой, серые лесные почвы – ореховатой. Хорошо окультуренные дерново-подзолистые почвы приобретают комковатую структуру, а неокультуренные подзолы отличаются плитчатой и листоватой структурой.

В земледелии принята следующая классификация структурных агрегатов по величине: глыбистая структура – комки более 10 мм, макроструктура – от 0,25 до 10, микроструктура – менее 0,25 мм.

С агрономической точки зрения особый интерес представляют мелкокомковатая и зернистая структуры с размером частиц 0,25–10 мм. Одновременно эта структура должна быть пористой, механически упруго прочной и водопрочной. Особое значение наряду с водопрочностью приобретает оптимальная пористость структурных агрегатов. Например, в иллювиальном горизонте дерново-подзолистых почв, а также в слитых черноземах структура водопрочная, но с низкой степенью пористости. Такая структура агрономически неблагоприятна и нехарактерна для плодородной почвы.

В ряде случаев важное значение для оценки качества почв имеет *микроструктура*. Почвы такой структуры обладают благоприятным комплексом водно-воздушных свойств. Это наблюдается в сероземных почвах, поглощающий комплекс которых богат коллоидами и насыщен кальцием.

Благоприятные свойства микроструктуры для ряда почв обуславливают необходимость учета этой характеристики наряду с содержанием в почве макроагрегатов – *макроструктура*.

Благоприятные размеры макро- и микроагрегатов для пахотной почвы в большей мере относительны. В более влажных условиях оптимальные размеры структурных агрегатов увеличиваются (1–3 мм), а в засушливых – уменьшаются (0,5–1 мм). Однако в условиях эрозионной опасности и в засушливых районах особое агрономическое значение приобретает увеличение размеров агрегатов до 1–2 мм в диаметре.

Образование структурных агрегатов в почве, по М. А. Качинскому, происходит в результате взаимного осаждения (коагуляции) коллоидов и их коагуляции под влиянием электролитов. Однако эти процессы проявляются на фоне более общих физико-механических, физико-химических и биологических факторов структурообразования.

Большое значение имеет механическое разделение почвенной массы на структурные отдельности (комки), которое в природных условиях происходит под воздействием корневых систем растений, жизнедеятельности биоты почвы, под влиянием периодических промораживания и оттаивания,

увлажнения и высушивания почвы, а в обрабатываемых почвах — и под воздействием почвообрабатывающих орудий.

Влияние растительности на образование структуры различно, что обусловлено степенью развития корневой системы. Так, многолетние травы с мощной корневой системой оказывают большее влияние на процесс структурообразования, чем однолетние культуры. Процесс образования структуры под действием растений состоит из двух этапов: расчленение корневой системой почвенной массы на структурные отдельности и агрегатирование их продуктами разложения корневых выделений и остатков.

Сменяющиеся промерзание и оттаивание оптимально увлажненной почвы положительно влияют на образование структурных агрегатов и разрыхление почв. Эффект промораживания—оттаивания основан на разновременном замерзании и оттаивании воды, находящейся в некапиллярных и капиллярных порах.

Механические факторы структурообразования особенно четко проявляются в процессе обработки почвы. При работе почвообрабатывающих орудий наибольшее количество макроагрегатов образуется в почве, находящейся в состоянии физической спелости (оптимальной влажности структурообразования).

Значение физико-химических факторов в образовании почвенной структуры обуславливается, с одной стороны, характером воздействия катионов на почвенные коллоиды, с другой — взаимодействием самих коллоидов, их природой. Так, водопрочность структуры возрастает при необратимой коагуляции коллоидов катионами двух- и трехвалентных металлов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ). Одновалентные катионы, наоборот, уменьшают водопрочность структуры вследствие обратимой коагуляции коллоидов.

Природа коллоидов также сильно влияет на прочность структурных агрегатов. Последние образуются с помощью минеральных и органических коллоидов, однако водопрочность агрегатов при этом значительно различается. Наибольшей водопрочностью характеризуются почвенные агрегаты, сцементированные органическими коллоидами (гуматами двух- и трехвалентных катионов). Что касается природы минеральных коллоидов, то минералы типа монтмориллонита и гидрослюды обеспечивают большую водопрочность агрегатов, чем кварц, кремнекислота и каолинит. Гидроксиды железа и алюминия играют важную роль при структуро-образовании



латеритных (с плотным горизонтом, обогащенным и сцементированным оксидами железа, иногда марганца) почв.

Действие химических факторов структурообразования проявляется, в частности, при смене восстановительных процессов окислительными в почвах с временным избыточным увлажнением. По данным Н. А. Качинского, структура почвы, возникшая с помощью химических факторов, как правило, неводопрочная.

Основную роль в образовании водопрочной структуры почвы играют биологические факторы — растения и почвенная биота.

Механическое воздействие корневых систем растений на образование структуры было рассмотрено ранее. Однако роль растений в структурообразовании более значительна. При разложении корней образуются гумусовые вещества, обладающие высокой сорбционной и биологической активностью. Кроме того, в зоне расположения корней — ризосфере — формируются специфические сообщества микроорганизмов и почвенной фауны (дождевых червей, насекомых, землероек и др.), продукты метаболизма которых воздействуют на оструктурирование почвы. При этом биологические факторы оказывают не только количественное, но и качественное влияние на почвенную структуру.

Почвенная структура тесно взаимосвязана с другими агрофизическими показателями плодородия. Структура почвы непосредственно определяет параметры строения пахотного слоя. Соотношение в почве с ненарушенным сложением объемов твердой фазы, капиллярной и некапиллярной пористости называют *строением*. Капиллярная пористость агрегатов в структурной почве дополняется некапиллярной пористостью межагрегатных промежутков, что в сумме составляет *общую пористость*. В структурной почве поддерживается наиболее благоприятное соотношение между объемом твердой фазы и общей пористостью. Для дерново-подзолистой почвы это соотношение составляет примерно 1:1 (50: 50 %), в черноземах пористость занимает до 60 % и более объема почвы. Агрономически наиболее благоприятное строение пахотного слоя устойчиво поддерживается в течение длительного времени только в почвах с высоким уровнем водопрочности почвенных агрегатов.

Одним из показателей строения пахотного слоя может быть *плотность почвы* — отношение массы к объему почвы ненарушенного сложения. При оптимальной плотности почвы складываются наиболее благоприятные

условия для роста растений. В естественных условиях под действием сил уплотнения и разрыхления в почве наступает равновесное состояние между твердой фазой и пористостью, называемое *равновесной плотностью*. Структурная почва имеет наименьший интервал значений между оптимальной и равновесной плотностью, а в хорошо окультуренных почвах, например в черноземах, их величины могут совпадать.

Параметры оценки структурного состояния почвы, по С. И. Долгову и П. У. Бахтину, следующие: отличная структура – более 70 % водопрочных макроагрегатов, хорошая – 70–55, удовлетворительная – 55–40, неудовлетворительная – 40–20, плохая – менее 20 %.

В обрабатываемых почвах структура динамична. С одной стороны, в почве протекают процессы структурообразования в результате механических, физико-химических и биологических факторов, с другой – почвенные агрегаты постоянно разрушаются.

Все многообразие причин, оказывающих отрицательное воздействие на структуру почвы, можно объединить в группы, одноименные факторам образования агрегатов.

*Механические* — разрушение структуры при воздействии на почву сельскохозяйственных орудий, движителей, ветра, дождя, выпаса скота и др.

*Физико-химические* — разрушение структуры в результате обменных реакций катионов, содержащиеся в дождевой воде, взаимодействуя с почвой, вытесняют из нее ионы кальция и магния, которые в условиях промывного водного режима могут вымываться за пределы пахотного слоя.

На почвенный поглощающий комплекс аналогично влияют ионы минеральных удобрений, продуктов жизнедеятельности корневой системы и других содержащихся в почве соединений. В результате коагуляционные силы, склеивающие почвенные частицы в агрегаты, ослабляются, агрегаты переходят в раздельно-частичное состояние.

*Биологические* — разрушительная деятельность почвенных микроорганизмов, минерализующих органическое вещество почвы как источник питания и энергии. Поскольку почвенные частицы склеены преимущественно органическими коллоидами, то агрегаты разрушаются. Развитию процессов минерализации органического вещества способствуют механическая обработка почвы, внесение извести и минеральных удобрений.

Поэтому в земледелии необходимо предусматривать меры по воспроизводству структуры почвы.

К основным направлениям воспроизводства структуры почвы относятся:

обогащение почвы органическим веществом как основным источником образования гумуса и энергии для микроорганизмов. Это достигают применением органических удобрений (навоз, торф, компосты, птичий помет, солома, сидераты, сапропель), посевом многолетних трав (травосеяние), которые оставляют после себя большое количество растительных и корневых остатков. Минеральные удобрения, повышая урожайность культур, косвенно и влияют на поступление в почву органического вещества за счет увеличения массы растительных и корневых остатков;

пополнение почвенных запасов кальция и магния как основных элементов структурообразования с помощью проведения известкования кислых и гипсования засоленных почв;

сокращение числа проходов сельскохозяйственной техники по полям, особенно тяжеловесной, путем использования ресурсосберегающих технологий выращивания растений;

защита почвы от водной эрозии и дефляции с помощью регулирования стока воды и скорости ветра в приземном слое;

создание наиболее благоприятных условий для окислительно-восстановительных процессов в почвах избыточного и недостаточного увлажнения путем проведения водных мелиораций — осушения и орошения;

создание прочной структуры верхнего слоя почвы с помощью внесения на его поверхность искусственных, экологически безопасных структурообразователей.

Мощность пахотного слоя. Мощность обрабатываемого слоя почвы, его объем, в котором развивается корневая система растений, играют важную роль в интенсивном земледелии. В пахотном слое сосредоточены запасы основных элементов питания, воды и воздуха. Кроме того, в современном земледелии возросло значение пахотного слоя как посредника в системе почва — растение, так как верхний слой почвы воспринимает дополнительные количества питательных веществ, вносимых с органическими и минеральными удобрениями, химических мелиорантов,

пестицидов, искусственных структурообразователей. Все эти вещества должны быть преобразованы в легкоусвояемые или безвредные для растений формы.

В условиях орошения пахотный слой способен аккумулировать больше доступной для растений воды и сохранять ее в течение длительного времени, тем самым обеспечивая эффективное использование оросительной воды. Следовательно, увеличение емкости обмена веществ и воды между почвой и растением обуславливает естественное в данном случае увеличение глубины (объема) обрабатываемого слоя.

Глубокий пахотный слой обеспечивает более благоприятные водно-воздушный и тепловой режимы почвы. Осадки, поливная вода быстро поглощаются почвой, накапливаются в ней и затем потребляются растениями по мере их роста и развития. Глубокий пахотный слой почвы может обеспечивать растения влагой и воздухом как при недостатке, так и при избытке выпадающих осадков. Лучшие условия увлажнения создают благоприятный питательный режим почвы, обусловленный, в свою очередь, нормально протекающими процессами разрушения — синтеза органического вещества. Глубокий пахотный слой способствует благоприятной минерализации органического вещества при одновременной эффективности его гумификации и при хорошем качественном состоянии.

В глубоком пахотном слое увеличивается содержание подвижных форм азота, фосфора, калия, что свидетельствует о более надежном обеспечении растений питательными веществами.

Благоприятный комплекс почвенных условий, создающийся в глубоком пахотном слое, сильно влияет на развитие корневых систем растений и на урожай. Урожай сельскохозяйственных культур на почвах с мощным пахотным слоем не только увеличивается но и стабилизируется по годам. Однако реакция сельскохозяйственных культур на мощность обрабатываемого слоя различна. Наибольшее увеличение урожая на почвах с глубоким пахотным слоем отмечается у пропашных культур, особенно у корне- и клубнеплодов; несколько меньше оно у озимых зерновых и многолетних трав. Яровые зерновые и однолетние травы уступают по этому показателю названным культурам.

Мощность пахотного слоя заметно влияет на величину энергетических затрат, связанных с поддержанием строения пахотного слоя в благоприятном

состоянии. Глубокий пахотный слой почвы позволяет сократить число и глубину технологических приемов обработки.

Наиболее благоприятная мощность пахотного слоя для большинства почв составляет 27–30 см. Однако такую глубину обрабатываемого слоя имеют не все почвы. Основным ограничивающим фактором создания мощного пахотного слоя – мощность гумусового горизонта. Так, дерново-подзолистым почвам с низким естественным уровнем плодородия и мощностью гумусового горизонта до 20 см на создание оптимальной глубины пахотного слоя требуются большие затраты средств, труда и времени. Создание мощного пахотного слоя связано с внесением извести, органических и минеральных удобрений и постепенным углублением обработки почвы. Более подробно технологии создания мощного пахотного слоя описаны в разделе «Обработка почвы».

Агрофизические показатели плодородия важны не сами по себе, а как основа создания оптимальных условий водно-воздушного, теплового и питательного режимов для роста и развития растений.

Кроме того, важнейшей особенностью этих показателей плодородия, за исключением гранулометрического и минералогического составов, является их динамичность в течение вегетационного периода, что затрудняет своевременную оптимизацию их параметров.

### Задание 3:

1. Изучить раздел «Воспроизводство агрофизических показателей почвы»
2. Ответить на вопросы;
  - а) что относится к агрофизическим показателям
  - б) гранулометрический и минералогический состав почвы
  - в) показатели физических свойств почвы
  - г) показатели механических свойств почвы
  - д) структура почвы
  - е) строение пахотного слоя

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ И ИХ ВОСПРОИЗВОДСТВО

*Образование и структура органического вещества почвы.* Органическое вещество почвы образуется из отмерших остатков растений, микроорганизмов, почвенных животных и продуктов их жизнедеятельности. Первичное органическое вещество, поступившее в почву, подвергается сложным превращениям, включающим процессы разложения, вторичного синтеза в форме микробной плазмы и гумификации. Сочетание названных процессов приводит к образованию сложных органических веществ: 1) малоразложившихся растительных и животных остатков с сохранившейся первоначальной структурой; 2) промежуточных продуктов разложения (например, протеиды, аминокислоты, поли- и монофенолы, моносахариды и др.); 3) гумусовых веществ, образовавшихся путем микробного синтеза или остаточного происхождения; 4) растворимых органических соединений, которые минерализуются до простых минеральных соединений ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_3$  и др.) или участвуют в синтезе гумусовых веществ.

Различные группы органических соединений взаимодействуют с минеральной частью почвы и закрепляются в ней. Органическое вещество — единственный источник энергии для развития почвы, формирования ее плодородия. Основным источником первичного органического вещества, поступающего в почву под естественной растительностью, служат остатки растений.

На пахотных почвах с отчуждением большей части урожаев полевых культур источником органического вещества являются надземные и корневые остатки растений, а также вносимые в почву органические удобрения. Агрономическое значение растительных остатков в интенсивном земледелии особенно велико: они ежегодно удобряют почву после уборки урожая; не требуют дополнительных затрат на их внесение; растительные остатки распределяются в почве наиболее равномерно; в них содержатся все макро- и микроэлементы, необходимые растениям. Растительные остатки бывают пожнивные, листостебельные и корневые.

Органическое вещество поступает в почву не только после отмирания растения, но и в течение его жизни, так как непрерывный процесс отмирания различных частей корневой системы происходит в продолжение всего периода роста и развития растения, особенно после цветения и начала созревания.

Полевые растения развивают различную по массе и глубине проникновения корневую систему, а следовательно, по-разному влияют на плодородие почвы.

По количеству органического вещества, оставляемого после уборки, основные полевые культуры можно разделить на три группы.

Первую группу составляют многолетние бобовые и мятликовые травы, оставляющие в почве наибольшее количество органического вещества. Более благоприятное действие бобовых многолетних трав на плодородие почвы и урожай последующих культур объясняется их способностью фиксировать атмосферный азот воздуха и накапливать больше корневых и пожнивных остатков.

Вторую группу составляют однолетние зерновые и зерновые бобовые культуры сплошного посева. Они оставляют в почве значительно меньше органического вещества, чем многолетние травы, а зерновые бобовые в меньшей степени фиксируют азот воздуха. Однако однолетние культуры по этому показателю сильно различаются. Такие растения, как райграсс и его смеси с однолетними бобовыми культурами, по количеству оставляемых в почве растительных остатков мало уступают многолетним травам и значительно превосходят другие однолетние культуры. Озимые культуры оставляют в почве больше органического вещества, чем яровые зерновые и зерновые бобовые. После уборки однолетних зерновых и зерновых бобовых культур в почве остается 1,5—3,0 т/га органического вещества.

В третью группу входят пропашные клубне- и корнеплодные культуры, которые оставляют в почве после уборки наименьшее количество органического вещества.

В почве при выращивании растений одновременно происходят два противоположных процесса: синтез и разрушение. Интенсивность обоих процессов, их соотношение определяют конечный результат. Если содержание органического вещества увеличивается, то культура способна улучшить плодородие и наоборот. На процессы накопления и разрушения органического вещества влияют технологические приемы возделывания растений.

Мощность развития корневой системы, как и надземной части растения, определяется влажностью почвы и уровнем минерального питания. При благоприятных условиях темпы прироста надземной массы больше, чем

корней. В результате общего увеличения массы корневой системы ее доля по отношению к надземной массе уменьшается.

Наряду с количеством растительных остатков важное значение имеют их химический состав и скорость разложения в почве. Так, в растительных остатках многолетних трав больше элементов питания, чем у других культур. Содержание азота в корневых остатках многолетних бобовых трав колеблется в пределах 2,25—2,60 %, фосфора — 0,34—0,80, в поукосных остатках — соответственно 1,82—2,65 и 0,30—0,71 %. Количество азота и фосфора в корнях бобово-злаковых травосмесей зависит от доли каждого компонента и составляет 0,91—2,37 % азота и 0,25—1,06% фосфора, в поукосных остатках — соответственно 1,60—2,18 и 0,17—0,54%. Мятликовые травы содержат значительно меньше азота в корнях и поукосных остатках.

Химический состав корней многолетних трав с возрастом изменяется: чем старше растения, тем меньше в их корнях азота и зольных элементов. Наряду с этим на количество азота и зольных элементов как в самом растении в целом, так и в растительных остатках в значительной мере влияют удобрения и почвенно-климатические условия.

Растительные остатки однолетних культур (кроме бобовых) по сравнению с многолетними травами беднее питательными элементами. Растительные остатки зерновых культур содержат меньше питательных веществ, чем бобовые культуры.

Корни и пожнивные остатки растений после отмирания под действием микроорганизмов и почвенной фауны разлагаются. Микрофлора использует органический материал в качестве пищи и энергии. На ход и темпы разложения влияют внешние условия среды (влажность, температура, pH почвы, содержание в ней кислорода и питательных веществ) и химический состав растительных остатков.

Превращение первичного органического вещества в почве происходит в несколько этапов.

На первом этапе происходит химическое взаимодействие между отдельными химическими веществами отмершего растения. Например, ароматические соединения клеточных оболочек могут вступать в химические реакции с белками растительных клеток. Этот процесс можно ускорить с помощью биологических и минеральных катализаторов.



На втором этапе происходит механическое перемешивание почвенной фауной растительных остатков с почвой. Возможно, на этом этапе осуществляется и определенная биохимическая подготовка первичного органического вещества к микробному разложению при прохождении растительной массы через желудочно-кишечный тракт почвенных животных.

На третьем этапе превращения свежего органического вещества в почве происходит его минерализация с помощью микроорганизмов. В первую очередь минерализуются водорастворимые органические соединения, а также крахмал, пектин и белковые вещества. Значительно медленнее минерализуется целлюлоза, при разложении которой освобождается лигнин — соединение, весьма устойчивое к микробиологическому расщеплению.

Конечными продуктами превращений органического вещества являются вода, диоксид углерода, нитраты, фосфаты и др. Кроме того, в почве накапливаются низкомолекулярные органические кислоты (муравьиная, уксусная, щавелевая и др.). Процессы минерализации органического вещества в почве носят экзотермический характер: при разложении 1 г сухого вещества освобождается 17—21 Дж энергии.

Одна часть более подвижных и простых соединений, минерализующихся до конечных продуктов, усваивается новыми поколениями зеленых растений, другая часть продуктов разложения используется гетеротрофными микроорганизмами для синтеза вторичных белков, жиров, углеводов и других веществ, образующих плазму новых поколений микроорганизмов, и в дальнейшем вновь разлагается. Третья часть промежуточных продуктов разложения превращается в специфически сложные высокомолекулярные соединения — гумусовые вещества, а сам процесс называют *гумификацией*. Образование специфических гумусовых веществ в большинстве случаев начинается на такой стадии биологического распада растительных и животных остатков, когда углеводы гидролизуются до моносахаридов, белковые вещества — до пептидов и аминокислот, ароматические соединения — до простых фенолов. Помимо этих соединений в образовании гумусовых веществ участвуют и более простые продукты распада.

Весь сложный комплекс органических веществ в почве можно разделить на две группы: соединения индивидуальной природы, или неспецифические органические соединения, и специфические гумусовые вещества.

*Неспецифические соединения* составляют 10—15 % общего количества органического вещества почвы. Эта группа представлена такими веществами, как лигнин, целлюлоза, протеины, аминокислоты, моносахариды, воска, жирные кислоты, т. е. практически всеми компонентами, составляющими растительные и животные ткани или входящими в состав прижизненных выделений макро- и микроорганизмов. Неспецифические соединения присутствуют в почве в свободном состоянии или связаны с минеральными компонентами почвы. Преобладающая часть таких соединений наиболее быстро реагирует на изменение внешних условий; многие из этих веществ легко усваиваются и разлагаются микроорганизмами и представляют как бы активное начало почвенного гумуса.

Основную часть органического вещества почвы (85—90 %) составляют *специфические гумусовые вещества*. Это более или менее темноокрашенные азотсодержащие высокомолекулярные соединения кислой природы. Они представлены гумусовыми кислотами (гуминовые и фульвокислоты), прогуминовыми веществами — типа «молодых» гуминоподобных продуктов и гуминами. Прогуминовые вещества сходны с промежуточными продуктами распада органических остатков. Разделяющая их граница условна и расплывчата.

*Гуминовые кислоты (ГК)* — фракция темноокрашенных азотсодержащих высокомолекулярных соединений, извлекаемая из почвы щелочными растворами. При подкислении вытяжки она выпадает в осадок в виде гуматов. Гуминовые кислоты содержат 46—62 % углерода, 32—38 кислорода, 3—5 водорода, 3—6 % азота. Кроме этих четырех элементов они содержат серу (от десятых долей процента до 1,0—1,2 %), фосфор (сотые и десятые доли процента) и катионы различных металлов. Основу молекулы гуминовой кислоты образует ароматическое ядро, сформированное ароматическими и гетероциклическими кольцами типа бензола, фурана, пиридина, нафталина, антроцена, гендола, хинолина. Ароматические кольца соединены между собой в рыхлую сетку. Боковые периферические структуры молекулы — алифатические цепи. Ядро молекулы ГК отличается гидрофобными свойствами, боковые цепи — гидрофильными. Конституционная часть молекулы ГК — функциональные группы: карбоксильные и фенолгидроксильные, определяющие кислотный характер ГК и способность к катионному обмену.

*Фульвокислоты (ФК)* — высокомолекулярные азотсодержащие органические кислоты. Они растворимы в воде, кислотах, слабых растворах

щелочей, пирофосфата натрия и в водном растворе аммиака с образованием растворимых солей — фульватов. Растворяются они также во многих органических растворителях. Выделенные из почвы препараты фульвокислот имеют окраску от соломенно-желтой до оранжевой. В состав ФК входят: углерод — 36—40 %, кислород — 45—50, водород — 3—5, азот — 3—4,5 %. От ГК они отличаются пониженным содержанием углерода и повышенным — кислорода. В состав ФК, как и ГК, входят сера, фосфор и различные металлы.

*Гумины* — наиболее инертная часть гумусовых веществ, не извлекаемая из почвы растворами кислот, щелочей или органическими растворителями.

Негидролизуемый остаток включает несколько групп веществ: гумусовые кислоты, прочно связанные с минеральной частью; декарбоксилированные гумусовые вещества, утратившие способность растворяться в щелочах; неспецифические и нерастворимые органические соединения.

Важная роль органического вещества в формировании почвы в значительной степени объясняется его способностью взаимодействовать с минеральной частью почвы. Образующиеся при этом органо-минеральные соединения — обязательный комплекс любой почвы. Формы органо-минеральных соединений в почвах разнообразны. К ним относятся все виды продуктов взаимодействия органического вещества с любыми минеральными компонентами: катионами металлов, гидроксидами, неорганическими анионами, силикатами и др. Частным случаем органо-минеральных соединений являются продукты взаимодействия органических веществ с почвенными минералами. Эти вещества называют почвенными минерально-органическими соединениями.

Многообразие органо-минеральных соединений в почвах обусловлено прежде всего тем, что в органической части почвы сосредоточен большой набор функциональных групп. Органо-минеральные соединения повышают устойчивость связанного в них органического вещества к микробиологическому расщеплению и обеспечивают устойчивую связь с другими свойствами почвы. Высокая биологическая устойчивость органо-минеральных соединений способствует связыванию и инактивированию глинистыми минералами ферментов, выделяемых микроорганизмами для разложения органического вещества.

Органическое вещество почвы аккумулирует большое количество углерода, элементов питания растений, способствует формированию водопрочной структуры и оптимальной порозности, препятствует развитию эрозионных процессов, инактивирует токсичные вещества, выполняя биогеохимическую функцию в земной коре.

Органическое вещество почвы наиболее эффективно влияет на продуктивность сельскохозяйственных культур только при некотором оптимальном для каждой почвы (зоны) сочетании уровней содержания гумуса, его состава и качества. Оптимальным считается такое содержание гумуса, которое благоприятно для получения запланированного урожая при обязательном условии наиболее эффективного использования вносимых удобрений и максимальной эффективности технологических приемов. Почва с оптимальным содержанием гумуса должна быть максимально устойчива к действию разрушающих факторов или других процессов, снижающих ее плодородие. Так, для дерново-подзолистых почв оптимальное содержание гумуса составляет 2,5—4 %. При меньшем количестве гумуса урожайность снижается, однако при повышении содержания гумуса до более высокого уровня дальнейшего заметного роста урожайности культур не происходит.

Один из важнейших показателей состояния пахотного слоя почвы — запас гумуса. Необходимость учета запаса гумуса обусловлена разной мощностью пахотного слоя и его плотностью. Так, в почвах легкого гранулометрического состава содержание гумуса обычно ниже, чем в аналогичных, но более тяжелых по гранулометрическому составу почвах. Однако при большей мощности пахотного слоя запас гумуса в легкой почве может оказаться не меньше, а даже больше, чем в тяжелой почве.

Запас гумуса в пахотном 0—20-сантиметровом слое почвы оценивается, по Л. А. Гришиной и Д. С. Орлову, следующими показателями: очень низкий— менее 50 т/га, низкий — 50—100, средний — 100—150, высокий — 150—200, очень высокий — более 200 т/га.

Воспроизводство органического вещества почвы. В современном земледелии баланс органического вещества часто отрицательный. Основными причинами потерь гумуса пахотными почвами являются:

несбалансированность структуры посевных площадей по массе растительных остатков, поступающих в почву;

усиление минерализации органического вещества в результате интенсивной обработки и повышения степени аэрации почв;

разложение и биодеградация гумуса под влиянием физиологически кислых удобрений;

усиление минерализации в результате осушительной и оросительной мелиорации;

эрозия и дефляция почв.

Обязательное условие обеспечения стабильного земледелия — воспроизводство органического вещества. Оно влияет одновременно на воспроизводство большей части биологических, агрофизических и агрохимических показателей плодородия.

Важнейшим фактором воспроизводства органического вещества в пахотных почвах являются полевые культуры. Их роль определяется биологическими особенностями и технологией возделывания. Если в естественных ценозах вся растительная масса поступает в почву, аккумулируя в верхнем слое углерод, азот и зольные элементы, то в агроценозах с поля отчуждается большая часть накопленной массы растений, что приводит к отрицательному балансу названных элементов в почве.

Этот вывод основан на строгом количественном учете отчуждаемых с урожаем элементов питания и частичном возврате в почву питательных веществ с корневыми и пожнивными остатками полевых культур. При этом принимают во внимание все другие возможные статьи поступления в почву питательных веществ.

В отличие от естественных фитоценозов, представленных в основном многолетними растениями, в агрофитоценозах возделывают однолетние растения, которые на единицу фитомассы потребляют значительно больше питательных веществ. В результате в пахотных почвах при недостаточном внесении удобрений запасы органического вещества и зольных элементов постепенно уменьшаются.

Несмотря на снижение запасов органического вещества почвы при возделывании однолетних растений, было бы неверно отрицать способность однолетних полевых растений пополнять запасы гумуса в почве и положительно влиять на ряд почвенных свойств. Однако конечный результат процессов образования гумуса из небольших количеств растительных

остатков однолетних культур и одновременно протекающих процессов минерализации гумуса является отрицательным. Взаимодействие этих процессов при возделывании многолетних трав имеет ярко выраженный положительный эффект из-за оставления в почве большого количества растительных остатков и незначительной минерализации гумуса при отсутствии механической обработки в течение нескольких лет.

Влияние однолетних растений на гумусированность почвы возрастет, если направленными агротехническими приемами уменьшить отрицательное действие обработки почвы на баланс органического вещества. Несмотря на значительные различия в содержании, запасах, качественном составе гумуса разных типов почв, динамика органического вещества почвы при ее земледельческом использовании характеризуется в целом одинаково. Количественные показатели органического вещества при этом могут заметно различаться.

Систематическое внесение органических и минеральных удобрений в севооборотах влияет на количественные превращения органического вещества почвы. Однако роль органических и минеральных удобрений в гумусовом балансе принципиально различна.

Органические удобрения могут влиять на баланс органического вещества почвы как прямо, переходя частично в форму гумусовых веществ (гумификация углерода органических удобрений), так и косвенно. Минеральные удобрения влияют на гумусовый баланс лишь косвенно. С повышением урожая количество оставляемой в поле растительной массы увеличивается, значительная часть питательных веществ урожая возвращается в поле в виде органических удобрений. Минеральные удобрения могут также затормаживать (за счет специфического влияния на биологическую активность почвы) процессы минерализации гумуса.

Применение минеральных удобрений — часто решающее условие быстрого увеличения урожайности полевых культур. Однако урожай, как отмечалось, еще не является абсолютным показателем плодородия почвы. Воспроизводство органического вещества почвы — важнейшее условие обеспечения высокой эффективности возрастающих доз минеральных удобрений. При систематическом применении минеральных удобрений наряду с ростом урожайности увеличиваются количество растительных остатков и содержание в них азота, фосфора, калия.

Состав растительных остатков корневой и пожнивной масс значительно различается по культурам. В корневых остатках зерновых культур значительно больше азота и фосфора, в стерне — калия. По содержанию азота и углерода корневая масса биологически более ценна, чем стеблевые остатки, характеризующиеся широким отношением C:N. Применение удобрений способствует в большей степени повышению содержания в растительных остатках азота и калия, в меньшей — фосфора.

Темпы разложения растительных остатков в почве зависят от соотношения C : N. Быстрое разложение свойственно растительным остаткам клевера с узким соотношением C:N; менее интенсивно разлагаются растительные остатки зерновых культур и вико-овсяной смеси. Внесение органических и минеральных удобрений ускоряет процессы разложения растительных остатков. В дерново-подзолистых почвах в течение года разлагается от 30 до 60 % растительных остатков.

Органические удобрения, прежде всего навоз, позволяют в значительной мере перевести минеральные удобрения в органически связанную форму. Растительные остатки сельскохозяйственных культур в современном земледелии превышают в балансе органического вещества почвы количество вносимого навоза примерно в 2 раза. Однако резервы увеличения доли растительных остатков в балансе гумуса почвы почти исчерпаны, а органических удобрений — имеются.

Механическая обработка почвы — один из наиболее существенных факторов, обуславливающих разложение органического вещества почвы. Разрыхление почвы способствует активизации почвенной микрофлоры и разложению органического вещества с образованием доступных форм азота и последующим вымыванием в условиях промывного режима почвы или восстановлением до свободного азота. Наиболее заметное снижение содержания органического вещества происходит при распашке целинных почв в первые годы. При уменьшении интенсивности обработки почвы (снижение глубины обработки, сокращение количества технологических приемов) темпы разложения органического вещества замедляются.

Расчет гумусового баланса в почве ведут по азоту, поскольку из всех питательных элементов именно он, а не углерод сосредоточен в основном в органическом веществе и непосредственно усваивается растением из почвы. Кроме того, установлено, что соотношение C:N в гумусовых веществах в среднем составляет 10:1.

Поэтому, зная вынос азота с урожаем и статьи его прихода с органическими удобрениями, растительными остатками и минеральными удобрениями, по его дефициту судят о количестве минерализуемого гумуса для покрытия дефицита азота. Вынос азота с запланированным урожаем полевых культур устанавливают по справочным данным. Использование растениями азота из органических удобрений, растительных остатков и минеральных удобрений определяют по нормативным данным.

При расчете гумусового баланса необходимо исходить также из того, что эффективность использования азота гумуса зависит от гранулометрического состава почвы и полевых культур. Для этого вводят поправочные коэффициенты. Поправочные коэффициенты использования азота почвы для различных по гранулометрическому составу дерново-подзолистых почв и различных полевых культур, по А. М. Лыкову, следующие: суглинок тяжелый — 0,8, средний — 1,0, легкий — 1,2, супесь — 1,4, песок — 1,8; многолетние травы — 1,0, зерновые и другие однолетние культуры сплошного посева — 1,2, пропашные — 1,6.

Использование азота минеральных удобрений (при рекомендуемых дозах) равно 50 %, навоза — 50, растительных остатков — 50 %. Обеспеченность потребности клевера в азоте за счет азота атмосферы в вариантах без удобрений принята за 80 %, при внесении удобрений — 70, для вико-овсяной смеси — соответственно 20 и 10%.

Количество растительных остатков рассчитывают по уравнениям линейной регрессии или по их соотношению с урожаем.

Коэффициенты гумификации (изогумусовые коэффициенты) органического вещества растительных остатков и навоза рассчитывают по углероду. Приняты следующие значения коэффициентов гумификации: для растительных остатков зерновых культур, зерновых бобовых, многолетних трав и льна 0,20—0,25, кукурузы и других силосных 0,1—0,15, картофеля, корнеплодов, овощей 0,05—0,08; для органических удобрений: навоза 0,22—0,30, торфа 0,30—0,35, соломы 0,20—0,25, зеленых удобрений 0,04—0,06.

В районах с водной эрозией или дефляцией в балансе органического вещества необходимо учитывать потери почвы, размеры которых зависят от проявления эрозионных процессов. Положительного баланса органического вещества можно достичь за счет внесения органических удобрений, соломы, выращивания многолетних трав. Из 1 т соломы образуется до 170—180 кг гумуса, или примерно 100 кг углерода. При урожайности сена многолетних



трав 4—5 т/га в почве ежегодно образуется около 800—900 кг/га гумуса, или связывается 500—600 кг углерода.

Для регулирования баланса органического вещества почвы важно знать критический и оптимальный уровни содержания гумуса. *Критический* (минимальный) *уровень* содержания органического вещества — это такой, ниже которого происходит быстрая деградация почв, сопровождающаяся резким снижением ее производительности и эффективности приемов земледелия. При *оптимальном уровне* содержания гумуса обеспечивается высокая эффективность применяемых факторов интенсификации земледелия.

В современном земледелии нет более важной агрономической задачи, чем предотвращение дальнейших потерь гумуса. Это обусловлено тем, что содержание гумуса в дерново-подзолистых и других почвах Нечерноземной зоны разных агроландшафтов находится на минимально допустимом, критическом уровне. Ведущее значение при решении этой проблемы могут иметь замена однолетних кормовых культур многолетними травами, использование соломы, выращивание сидератов в качестве промежуточных культур и замена чистых паров занятыми. В пахотной почве минерализуется в среднем около 3 т/га гумуса, а чтобы его воспроизвести, требуется более 40 т/га навоза.

Особенно катастрофическое обеднение почв гумусом происходит при бессменном паровании. Независимо от размера хозяйства и форм собственности баланс гумуса должен быть в крайнем случае бездефицитным, а на почвах с низким содержанием органического вещества — положительным. Бездефицитный баланс гумуса и оптимальное его содержание в пахотных почвах могут быть достигнуты при сочетании следующих условий: рациональная структура посевной площади с включением многолетних трав, внесение органических удобрений, эффективное использование пожнивных остатков, известкование кислых и гипсование засоленных почв, применение минеральных удобрений, использование двустороннего регулирования водного режима мелиорируемых почв, предотвращение эрозии почвы, оптимизация обработки почв. Количественные параметры этих приемов зависят от конкретных почвенно-климатических и хозяйственных.

### ПОЧВЕННАЯ БИОТА И ЕЕ АКТИВНОСТЬ

*Почвенная биота* — комплекс разнообразных почвенных организмов, различающихся по экологическим функциям и таксономическому положению. Она является обязательным компонентом почвы. Основная ее

часть — микроорганизмы. Доминирующее значение принадлежит растительным микроорганизмам (бактерии, грибы, водоросли, актиномицеты). Животные организмы представлены простейшими (жгутиковые, корненожки, инфузории), а также червями. Довольно широко в почве распространены моллюски и членистоногие (паукообразные, насекомые).

Количество живых организмов в 1 г хорошо окультуренной почвы может достигать нескольких миллиардов, а их общая масса — 10 т/га.

Почвенная биота участвует в процессах формирования почвенного плодородия, минерализации органического вещества, вовлечении химических элементов минералов литосферы в круговорот, биологической фиксации азота.

Почвенные организмы разрушают отмершие остатки растений и животных, поступающие в почву. Одна часть органического вещества минерализуется полностью, а другая — переходит в форму гумусовых веществ и живых тел почвенных организмов. Некоторые микроорганизмы (клубеньковые и свободноживущие бактерии) усваивают азот атмосферы и обогащают им почву.

Почвенные организмы (особенно фауна) способствуют перемещению веществ по профилю почвы, тщательному перемешиванию органической и минеральной частей почвы, созданию прочной комковатой структуры. Кроме того, в процессе жизнедеятельности они выделяют различные физиологически активные соединения, участвующие в трансформации одних питательных веществ в подвижную форму, а других, наоборот, — в недоступную для растений форму.

В обрабатываемой почве функции почвенных организмов сводятся к поддержанию оптимального питательного режима, что выражается в частичном закреплении минеральных удобрений с последующим освобождением по мере роста и развития растений, оструктуривании почвы, устранении неблагоприятных экологических условий в почве. Поддержание экологически благоприятных условий в почве осуществляется благодаря наличию тесных связей между почвенными организмами, которые находятся в состоянии непрерывно изменяющегося равновесия. Одни группы микроорганизмов предъявляют простые требования к пище, другие — повышенные. Между одними группами существуют симбиотические (взаимно полезные) связи, между другими — абиотические. В последнем случае микроорганизмы

выделяют в почву вещества, подавляющие развитие других микроорганизмов, что имеет непосредственное значение для очищения почвы от фитопатогенной микрофлоры.

Для оценки деятельности почвенной биоты используют биологическую активность почвы. Этот показатель, с одной стороны, характеризуется численностью компонентов почвенной биоты, с другой — количественными критериями результатов жизнедеятельности почвенных организмов.

Определение численности почвенной биоты осуществляют, как правило, подсчетом общего количества почвенных организмов. Из-за несовершенства методик и малой кратности определений во времени результаты анализа дают примерную характеристику биологической активности почвы. Наряду с общим подсчетом почвенных организмов иногда определяют количество микроорганизмов разных физиологических групп (нитрифицирующие, целлюлозоразлагающие и др.).

Оценку биологической активности почвы по результатам деятельности почвенных организмов проводят методом определения количества поглощенного кислорода и продуцируемого диоксида углерода, разложившейся целлюлозы, почвенных ферментов, нитратного и аммиачного азота, фитотоксичных соединений и др. Каждый отдельно взятый показатель характеризует активность определенной группы микроорганизмов, а не всей почвенной биоты в целом. Привести к интегральному показателю исключительно многообразную деятельность почвенной флоры и фауны очень сложно. Однако имеются попытки выразить активность почвы через «биологический балл», являющийся усредненным показателем состояния различных биологических процессов в почве.

Высокая биологическая активность почвы способствует росту урожайности сельскохозяйственных культур при прочих равных условиях.

Для нормального функционирования почвенных организмов необходимы прежде всего энергия и питательные вещества. Для подавляющего большинства микроорганизмов таким источником энергии является органическое вещество почвы. Поэтому активность почвенной микрофлоры зависит главным образом от поступления или наличия в почве органического вещества. Источниками поступления органического вещества в почву являются внесение навоза, торфа, соломы, птичьего помета, зеленых удобрений, сапропеля, посев многолетних трав, промежуточных культур.

## ФИТОСАНИТАРНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЫ

Фитосанитарное состояние почвы характеризуется наличием в ней семян и вегетативных органов размножения сорных растений, вредителей, фитопатогенов, а также токсичных веществ, выделяемых растениями, ризосферной микрофлорой и продуктами разложения. Все виды вредных организмов и фитотоксичные вещества — обязательные компоненты агробиоценоза. Поэтому в большинстве случаев в почве в тех или иных количествах могут находиться вредные организмы.

Наряду с существенными биологическими различиями между вредными организмами (растения, насекомые, микроорганизмы) их объединяют высокая плодовитость, относительно узкая специализация поражаемых растений, возможность приспосабливаться к различным экологическим условиям. Эти свойства обеспечивают вредным организмам высокую конкуренцию за выживание, несмотря на жесткие истребительные меры борьбы с ними.

Фитосанитарное состояние существенно влияет на продуктивность сельскохозяйственных культур: чем больше численность вредных организмов, тем ниже урожай. Оптимальным критерием оценки фитосанитарного состояния почвы и посевов является численность сорных растений на уровне порога вредоносности (количество сорных растений, не оказывающее существенного влияния на снижение урожая), и когда вредители и фитофаги не оказывают заметного воздействия или не обнаруживаются на растениях. Это не означает, что в почве будут полностью отсутствовать определенные виды вредителей и фитофагов, однако благодаря созданию определенных условий их размножение будет сдерживаться.

Регулирование численности вредных организмов до оптимального уровня достигают с помощью использования естественных механизмов саморегулирования компонентов агробиоценозов в сочетании с дифференцированным применением санитарно-профилактических и истребительных методов.

Более подробно воспроизводство оптимального фитосанитарного состояния почвы изложено в разделе II.

Рассмотрим фитотоксичность почвы. Это явление известно давно под названиями «почвоутомление», «токсикоз почвы» и другими, но научное обоснование оно получило в последние десятилетия.

*Фитотоксичность почвы* обусловлена накоплением физиологически активных веществ, среди которых присутствуют фенольные соединения, органические кислоты, альдегиды, спирты и др. Совокупность этих веществ получила название *колины*, состав и концентрация которых зависят от температуры и влажности почвы, от микроорганизмов и растений.

Действие колинов определяется их качественным составом и концентрацией; оно проявляется в процессах деления, растяжения и дифференциации клеток, при дыхании и фотосинтезе, поступлении воды и питательных веществ и других жизненно важных функциях растений. При низких концентрациях фитотоксичных веществ в почве обнаруживается стимулирующий эффект, но при увеличении их содержания наступает сильное угнетение роста растений или прорастания семян. Источник образования и поступления токсичных веществ — корневые выделения растений, послеуборочные растительные остатки и продукты метаболизма микроорганизмов. Наиболее интенсивно фитотоксичные вещества накапливаются при возделывании на одном месте одновидовых или близких по биологии культур и при создании в почве анаэробных условий.

Если в структуре посевных площадей преобладают культуры со сходными биологическими особенностями, например зерновые, то в почву ежегодно поступает приблизительно одинаковая по количеству и качеству органическая масса в виде корневых выделений и растительных остатков. Это приводит к изменению соотношения основных группировок микробиоценоза, появлению фито-токсичных форм, которые поставляют в почву вредные для культурных растений вещества. Так, при разложении растительных остатков зерновых культур в почве обнаружено повышенное содержание фенольных соединений, которые, находясь в зоне расположения семян растений, ингибируют их прорастание.

Анаэробные условия способствуют образованию токсичных веществ, так как при этом корневые выделения и промежуточные продукты минерализации гумуса превращаются в сильно восстановленные соединения, что обуславливает создание очагов токсичности в почве. Можно также полагать, что в зоне корней некоторых растений избирательно накапливаются некоторые группы микроорганизмов, неблагоприятно воздействующих на растения.

Фитотоксины почвенных микроорганизмов вызывают изменения в химическом составе растений, нарушают обмен веществ в них. Определенное влияние фитотоксины оказывают на азотный обмен растений. Больше всего

изменений происходит в соотношении между белковым и небелковым азотом, в содержании белков, увеличении накопления отдельных аминокислот, аммиака и других соединений, в состав которых входит азот. Фитотоксичные вещества, образованные в результате деятельности микроорганизмов, влияют на интенсивность дыхания растений и снижают их фотосинтетическую активность.

Многочисленные почвенные организмы в процессе своей жизнедеятельности вырабатывают разнообразные вещества, которые, накапливаясь в почве, задерживают или полностью подавляют развитие многих патогенных грибов.

Растения выделяют в почвенную среду различные аминокислоты, углеводы и другие вещества. Вместе с экссудатами в почву поступает большинство веществ, участвующих в метаболизме клеток высших растений: сахара, гликозиды, органические кислоты, витамины, ферменты, алкалоиды и др. Все эти вещества в той или иной мере могут быть использованы микроорганизмами в качестве источника питания. Для возбудителей корневых гнилей это имеет особое значение, так как корневые экссудаты стимулируют их рост и обеспечивают развитие в ризосфере растений. Экссудаты корней и водные вытяжки из растений стимулируют также прорастание конидий офиоболуса и других грибов. Однако отдельные компоненты корневых выделений в больших концентрациях могут задерживать их прорастание.

Основные мероприятия, направленные на воспроизводство фитосанитарного состояния почвы, следующие:

возделывание сельскохозяйственных культур в севообороте. Чем больше различий между культурами, тем выше фитосанитарный эффект — использование устойчивых к болезням, вредителям и сорным растениям сортов;

применение рациональной обработки почвы;

посев промежуточных культур;

проведение санитарно-профилактических мероприятий;

использование биологических и химических средств защиты растений

Задание 4:

1. Изучит раздел « Биологические показатели плодородия почвы»
2. Ответить на вопросы:
  - а) образование и структура органического вещества
  - б) почвенная биота и ее активность
  - в) фитосанитарное состояние почвы

## **АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ И ИХ ВОСПРОИЗВОДСТВО**

*Содержание питательных веществ.* Растения усваивают азот и зольные элементы из почвы в форме минеральных солей. Кроме того, они могут усваивать некоторые относительно простые органические азот- и фосфорсодержащие вещества (определенные аминокислоты, фитин). Однако практическое их значение в питании ничтожно.

В наибольшем количестве растения поглощают *макроэлементы*: азот, фосфор, калий, кальций, магний, серу. Их содержание в растениях исчисляется целыми процентами или десятymi долями. При сжигании органического вещества все элементы, кроме азота, остаются в золе, поэтому их часто называют *зольными элементами*.

Растениям необходимы также элементы, которые потребляются ими в небольших количествах, но играют важную роль в различных процессах обмена веществ. К ним относятся железо, бор, марганец, цинк, медь, молибден и др. Их называют *микроэлементами*. Исчисляются они сотыми и тысячными долями процента.

В растениях встречаются также элементы в ничтожно малых количествах, которые называют *ультрамикроэлементами*. К ним можно отнести серебро, золото, радий, уран, торий, актиний и др. Значение этих элементов в жизни растений изучено мало, хотя, несомненно, они играют определенную роль в биохимических процессах. Кроме перечисленных элементов растения поглощают и другие вещества, находящиеся в почве, которые, хотя и не являются необходимыми, могут действовать на растения в одних случаях положительно (натрий на сахарную свеклу, кремний на зерновые культуры), а в других отрицательно (хлор на картофель, табак и другие хлорофобные культуры).

При возделывании растений в различных почвенно-климатических условиях потребность их в каждом питательном элементе неодинаковая.

Однако почти повсеместно для формирования высокого урожая сельскохозяйственных культур необходимы прежде всего азот, фосфор и калий. Потребность в кальции возникает на кислых почвах со слабой буферностью и низкой степенью насыщенности основаниями. Высокое действие магния часто наблюдается на легких дерново-подзолистых почвах.

Основную часть питательных веществ растения усваивают из почвенного раствора, который постоянно взаимодействует с твердой фазой почвы. Скорость обмена ионами между твердой и жидкой фазами очень высокая. В течение нескольких минут обмен ионами может происходить многократно. Для ускорения взаимодействия твердой фазы и почвенного раствора важное значение имеет его концентрация. Состав почвенного раствора высокодинамичен.

Содержание доступных форм питательных веществ зависит от их валового запаса. Большую роль в переводе валовых запасов питательных веществ в подвижное состояние играет почвенная микрофлора, особенно обитающая в прикорневой зоне (ризосфере). В плодородии почвы велико значение микроорганизмов, способных связывать атмосферный азот. Главным источником азота в почве является гумус. В нем содержится около 5 % азота. Этот азот является основным источником питания растений. В минеральной форме азота немного — около 1—3 %.

*Азот.* Запасы гумуса на 1 га в метровом слое почвы, по данным И. В. Тюрина, составляют: в сероземах — 50 т, светло-каштановых — 100, темно-каштановых и южных черноземах — 200—250, обыкновенных черноземах — 400—500, мощных черноземах — 800, выщелоченных черноземах — 500—600, серых лесостепных — 150—300, дерново-подзолистых — 80—120 т. В пахотном слое почвы гумуса гораздо меньше, чем в метровом слое. В то же время верхние слои почвы больше обогащены микрофлорой и основная часть азота при минерализации гумуса поступает на питание растений именно из этих слоев.

Источниками пополнения запасов азота в почве являются азот-фиксирующая способность свободноживущих и клубеньковых микроорганизмов, а также поступление его с атмосферными осадками. Наиболее значительное количество азота накапливается в почве благодаря жизнедеятельности клубеньковых бактерий бобовых растений. Ежегодно на 1 га посева бобовых культур может накапливаться следующее количество азота: клевера — 150—160 кг, люпина — 160—170, люцерны — 250—300, сои — 100, вики, гороха, фасоли — 70—80 кг.



Фиксация азота несимбиотическими, или свободноживущими, микроорганизмами зависит от обеспеченности их углеводами, фосфором, кальцием и другими элементами, реакции почвенной среды, температуры, влаги, условий аэрации (*Clostridium pasteurianum* живет в анаэробных условиях, *Azotobacter chroococcum* и другие — в аэробных). Эти микроорганизмы способны ежегодно накапливать от 5 до 15 кг/га связанного азота. Кроме бактерий связывать атмосферный азот могут грибы и водоросли, находящиеся в симбиозе с некоторыми высшими растениями.

Запасы азота в почве пополняются азотом атмосферных осадков. Обычно он поступает в виде аммиака и отчасти нитратов. Эти соединения образуются в атмосфере под действием грозových разрядов. С осадками ежегодно поступает от 2 до 11 кг/га азота.

Перечисленные источники пополнения запасов азота, несомненно, представляют практический интерес, но все они составляют лишь незначительную часть того азота, который выносится с урожаем сельскохозяйственных культур. Поэтому необходимо принимать меры для воспроизводства почвенных запасов азота. Наиболее существенный и реальный путь — внесение органических и минеральных удобрений.

Содержание в почве минерального азота очень динамично и зависит от влажности и активности почвенной микрофлоры, фазы развития растений. При разложении 1 т гумуса в почву поступает около 50 кг/га азота, однако не весь азот усваивается растениями. Существует несколько источников потери минеральных форм азота из почвы. Основными из них являются иммобилизация, т. е. потребление азота почвенной микрофлорой; выщелачивание, прежде всего нитратных форм азота в грунтовые воды; улетучивание аммиака, оксидов азота и молекулярного азота в воздух; фиксация аммония почвой или обменное его поглощение.

Особенно интенсивное поглощение азота микроорганизмами почвы происходит при внесении органических веществ с широким соотношением углерода и азота (20—25 : 1). В то же время в плазме микробов азота значительно больше, чем в разлагающихся органических веществах. Среднее соотношение углерода и азота в плазме микробов составляет 10 : 1. Поэтому при внесении в почву растительных остатков почвенная микрофлора для построения плазмы использует не только азот органических веществ, внесенных в почву, но и минеральный азот почвы. А это приводит к ухудшению азотного питания культурных растений. Подобные процессы особенно часто наблюдаются при запарке соломы накануне посева последующих культур.

Для снижения иммобилизации азота микрофлорой почвы к растительным остаткам (солома), богатым целлюлозой, рекомендуют добавлять около 1 % минерального азота.

Следует отметить, что процесс иммобилизации азота почвы микроорганизмами не всегда является отрицательным фактором. На легких почвах в зоне достаточного увлажнения в результате иммобилизации минеральный азот почвы закрепляется в верхних слоях. В дальнейшем при разложении плазмы микроорганизмов одна часть азота закрепляется в гумусовых веществах, а другая — переходит в минеральные формы.

Вымывание нитратов осадками и при орошении наблюдается на почвах легкого гранулометрического состава с низким содержанием органического вещества. Под культурами сплошного посева потери нитратного азота резко снижаются, поскольку образовавшийся благодаря нитрификации азот поглощается растениями. В паровом поле происходят наибольшие потери нитратов, потому что они не адсорбируются коллоидами почвы и передвигаются вместе с почвенной влагой.

Значительная часть газообразного азота теряется из почвы вследствие *денитрификации*. Этот процесс восстановления нитратного азота почвы до свободного газообразного азота происходит в результате жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, получивших название денитрификаторов. Потери азота при денитрификации объясняются тем, что микроорганизмы развиваются при отсутствии кислорода воздуха, а для дыхания используют кислород нитратов, восстанавливая азот до свободной молекулярной формы. Для денитрификации, а следовательно и потерь молекулярного азота, наиболее благоприятны анаэробные условия, щелочная реакция почвы и избыточное количество в почве органического вещества, богатого клетчаткой, глюкозой и другим энергетическим материалом, а также высокое увлажнение почвы.

Кроме денитрификации существуют и другие пути потерь газообразного азота. Эти потери связывают главным образом с распадом азотистой кислоты в почве или с другими химическими соединениями почвы. Наиболее существенные потери азота бывают при распаде азотистой кислоты с образованием азотной кислоты и оксида азота. При подкислении почвы до pH ниже 6 этот процесс усиливается. На воздухе NO окисляется до NO<sub>2</sub>.

Часть азота, внесенного с удобрениями или находящегося в почве, поглощается некоторыми минералами из группы гидрослюд. Механизм

закрепления аммония в необменной форме можно представить следующим образом. При увлажнении почвы кристаллическая решетка минерала расширяется, и аммоний вначале поглощается обменно, но может проникать внутрь нее, занимая свободные радикалы. При подсушивании почвы катионы аммония, попавшие внутрь решетки минерала, оказываются как бы сжатыми, т. е. фиксированными. Такой аммоний трудно вытеснить различными растворителями, не поддается он и действию нитрифицирующих бактерий. Такой фиксированный аммоний малодоступен для растений.

Фиксирующая способность почв в отношении аммония возрастает с увеличением температуры и pH. На кислых почвах фиксация аммония бывает значительно меньшей, чем на щелочных; максимальная она на солонцах. Фиксация аммония возрастает и в почвах с большим содержанием гумуса, который, очевидно, связывает аммоний химически, что отличается от обычного понимания его фиксации. Способность почвы фиксировать аммоний проявляется при наличии в ней глинистых минералов с трехслойной кристаллической решеткой, особенно вермикулита.

Фиксированный аммоний почвы — это не безвозвратно потерянный азот; при определенных условиях (введении в кристаллическую решетку катионов кальция, магния, натрия) он может быть использован растениями.

*Фосфор.* В разных почвах содержится неодинаковое количество фосфора ( $P_2O_5$ ) — от 0,01 % в бедных песчаных почвах до 0,20 % в мощных высокогумусных почвах. В верхних слоях почвы  $P_2O_5$  обычно больше, что связано с накоплением фосфора в зоне отмирания основной массы корней. Вниз по профилю почвы количество  $P_2O_5$  уменьшается. Фосфор в почве присутствует в органической и минеральной формах.

Органические фосфаты входят в состав главным образом гумусовых веществ. Фосфор этих соединений становится доступным растениям после их разложения.

Некоторые растения способны усваивать фосфорную кислоту из несложных фосфорорганических соединений. Это обусловлено тем, что корни ряда растений выделяют фермент фосфатазу, который и отщепляет фосфорную кислоту от органических соединений. Внеклеточной фосфатазной активностью обладают горох, кукуруза, бобы и другие культуры. Минеральные фосфаты в почвах находятся в виде солей кальция, железа и алюминия. Фосфаты кальция преобладают в нейтральных и щелочных почвах, а фосфаты полутораоксидов алюминия и железа

распространены в кислых почвах. Следует иметь в виду, что кальциевые соли фосфорной кислоты характеризуются более высокой растворимостью, а соли алюминия и железа меньше растворимы, поэтому менее доступны растениям.

Основной источник фосфорного питания растений — минеральные соединения фосфора в почве. Для питания растений пригодны соли ортофосфорной ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) и метафосфорной ( $\text{HPO}_3$ ) кислот. Наиболее доступны соли одновалентных катионов фосфорной кислоты. Растворимы в воде и могут легко усваиваться растениями также соли двухвалентных катионов при замещении одного водорода ортофосфорной кислоты (однозамещенные фосфаты кальция). Соли метафосфорной кислоты и в этом случае плохо растворимы в воде.

Двухзамещенные соли двухвалентных катионов ( $\text{CaHPO}_4$ ) ортофосфорной кислоты нерастворимы в воде, но растворяются в слабых кислотах, что позволяет считать их вполне усвояемыми растениями. Они через корни выделяют слабые кислоты, вызывая местное подкисление почвы в прикорневой зоне.

Трехзамещенные фосфаты двухвалентными катионами весьма слабо растворимы в воде, поэтому большинство растений в заметном количестве их не усваивают.

Разные культуры обладают неодинаковой способностью усваивать фосфор из труднодоступных соединений. Люпин, гречиха, горчица могут усваивать фосфор из трехзамещенных фосфатов кальция, горох, донник, эспарцет и конопля — в меньшей мере.

Э. Рюбензам и К. Рауэ (1960) отмечали, что люцерна, клевер, другие бобовые, в меньшей степени рожь и кукуруза могут растворять труднодоступные соединения фосфора благодаря своей относительно мощной корневой системе.

Из-за слабой подвижности фосфора в почве практически отсутствуют естественные пути потерь фосфорных соединений, как и естественные источники его пополнения по сравнению с азотом.

Содержание подвижных форм фосфора непосредственно влияет на урожайность сельскохозяйственных культур. Оптимальный уровень обеспеченности подвижным фосфором для дерново-подзолистых и серых лесных почв (по Кирсанову) находится в пределах 150—250 мг/кг, для чернозема (по Мачигину) — 45—60 мг/кг. При этих уровнях обеспеченности

фосфором достигается наиболее высокий урожай большинства полевых культур.

Повышение содержания фосфора в почве возможно при внесении органических и фосфорных удобрений. Затраты  $F_2O_3$  на увеличение содержания фосфора в почве на 1 мг/100 г составляют в зависимости от гранулометрического состава различных типов почвы от 40 до 120 кг/га.

*Калий.* Калий почвы — основной источник питания растений. Валовое содержание его в почве часто превышает содержание азота и фосфора. Это в значительной мере определяется гранулометрическим составом. В глинистых и суглинистых почвах его содержание достигает 3 %. Значительно меньше калия в песчаных, супесчаных и торфяных почвах — снижение его доходит до 0,1 %.

Валовое содержание калия в почве не всегда характеризует обеспеченность им растений, так как в почве бывает лишь около 1 % валовых запасов, доступных растениям. Поэтому об обеспеченности растений калием в разных почвах судят по его подвижным формам.

По доступности растениям все соединения калия в почве можно разделить на пять групп.

1. Калий, входящий в состав минералов почвы (алюмосиликаты). Эта форма калия труднодоступна растениям. Однако некоторое количество калия мусковита, биотита и нефелина может переходить в доступные состояния в результате действия на них диоксида углерода и некоторых органических кислот, выделяемых корнями растений. В зависимости от типа почвы переход калия из необменных форм в обменные протекает с различной интенсивностью. На дерново-подзолистых почвах эта величина составляет ежегодно 15—30 кг/га, на выщелоченных черноземах — около 60 кг/га.

2. Поглощенный, или адсорбционно-связанный на поверхности почвенных коллоидов, калий — главный источник калийного питания растений. Его в почве может быть 50—300 мг/кг почвы. Растения в процессе вегетации используют лишь часть обменного калия в зависимости от свойств почвы, биологических особенностей растений, погодных условий и т. д.

3. Водорастворимый калий составляет 10—20 % количества  $K_2O$ , находящегося в обменном состоянии, а по мнению Э. Рюбензам и К. Рауэ, около 1 %.

В неудобренной дерново-подзолистой почве опыта МСХА в течение весенне-летнего периода количество водорастворимого калия колебалось от 1,5 до 5 мг/кг почвы.

Водорастворимый калий наиболее доступен для питания растений. Появляется он в почве главным образом вследствие химического и биологического воздействия на почвенные минералы, а также их гидролиза. Часть калия может переходить из обменного состояния в раствор в результате вытеснения его из поглощающего комплекса различными солями, в том числе и вносимыми в почву удобрениями.

4. Некоторая часть калия почвы входит в состав плазмы микроорганизмов. В дерново-подзолистой почве количество  $K_2O$  достигает 40 кг/га. В доступную форму этот калий переходит лишь после отмирания микробов. Калий содержится также в растительных и животных остатках. После их разложения он становится доступным растениям.

Калий, фиксированный почвой. В почве протекают процессы не только превращения калия из труднорастворимых форм в обменную и водорастворимую, но и закрепления калия в необменном состоянии, т. е. фиксация его почвой. Этот процесс активно протекает при попеременном смачивании и подсушивании почвы.

Почва тяжелого гранулометрического состава отличается повышенной фиксацией калия. Особенно интенсивно фиксируется калий при наличии в почве глинистых минералов группы монтмориллонитов и гидрослюд, которым свойственна внутрикристаллическая адсорбция катионов. Каолинитовая же группа глинистых минералов этим свойством не обладает и не фиксирует калий.

Различные типы почв неодинаково закрепляют калий вне-обменном состоянии. Наиболее интенсивно фиксация калия протекает в солонцах. Черноземы обладают большей способностью фиксировать калий, чем дерново-подзолистые почвы.

Фиксирующая способность почвы проявляется до определенного предела. Фиксация калия из удобрений на дерново-подзолистых почвах

невелика и редко превышает 200 кг/га, на черноземах она достигает 300—700 кг/га. Внесением удобрений можно добиться их полного насыщения емкости поглощения.

По мере повышения содержания калия в почве наблюдается рост урожая сельскохозяйственных культур. Наибольший урожай на дерново-подзолистых почвах формируется при содержании обменного калия 170—225 кг/га. Этот уровень можно считать оптимальным для дерново-подзолистых и серых лесных почв.

Оптимальное содержание подвижного калия в основных подтипах черноземов колеблется в зависимости от почвы, культуры и метода определения от 130 до 200 мг/кг по Чирикову до 400 мг/кг по Мачигину.

Основной фактор воспроизводства элементов минерального питания — внесение органических и минеральных удобрений. При содержании элементов питания в почве ниже оптимального уровня воспроизводство их должно быть расширенным (внесение NPK выше их выноса с урожаем), а при достижении оптимальных значений — простым.

Микроэлементы. Кроме рассмотренных элементов большую роль в формировании урожая и его качества играют микроэлементы: марганец, бор, молибден, медь, цинк, кобальт, йод. Они принимают участие во многих физиологических и биохимических процессах растений. Микроэлементы — обязательная составная часть ферментов, витаминов, ростовых веществ, которые в растениях выполняют важную роль ускорителей и регуляторов сложнейших биохимических процессов. Микробиологические процессы также протекают при участии ферментов, в состав которых входят микроэлементы.

Растениям микроэлементы требуются в очень малых количествах. Однако недостаток или избыток их нарушают обмен веществ у растений. При недостатке микроэлементов растения поражаются различными болезнями; например, сахарная свекла — гнилью сердечка, лен — бактериозом, зерновые культуры на торфянистых почвах — пустозерностью и т. д.

Вынос микроэлементов с урожаем сельскохозяйственных культур с 1 га почвы составляет от десятых долей грамма (молибден) до нескольких сотен граммов (марганец, цинк).

Потребность в микроэлементах удовлетворяется за счет почвенных запасов и внесения навоза, который содержит почти все необходимые для растений микроэлементы. Кроме того, в почву поступают микроэлементы с некоторыми минеральными удобрениями: сырыми калийными солями, фосфоритной мукой, томас-шлаком, золой и др. В минеральных удобрениях 70—75 % валового содержания микроэлементов находится в подвижной, т. е. усвояемой для растений, форме. Подвижность микроэлементов в навозе значительно меньше, чем в минеральных удобрениях, и составляет не более 25 %.

При получении высоких урожаев потребность растений в различных микроэлементах почвой удовлетворяется не полностью. В этом случае их необходимо вносить с микроудобрениями.

*Реакция почвенной среды.* Для плодородия почвы и получения высоких урожаев большое значение имеет реакция почвенного раствора. Большинство возделываемых культур и почвенных микроорганизмов лучше развивается при слабокислой или нейтральной реакции почвы. Однако отдельные виды культурных растений значительно различаются по требовательности как к наиболее оптимальному для их роста интервалу pH, так и к смещению его в ту или иную сторону.

Одни растения не выдерживают кислых почв (люцерна, сахар-пая свекла, хлопчатник), другие успешно растут на слабокислой почве (люпин, гречиха, лен, картофель), у остальных оптимальная реакция почвенного раствора близка к нейтральной.

Косвенное действие кислотности проявляется в резком снижении почвенного плодородия из-за увеличения подвижности гумусовых веществ и вредного влияния ионов  $H^+$  на минеральную часть почвы. При этом почва обедняется коллоидами, которые вымываются в подпахотные слои. Недостаток в почве обменных кальция и магния вызывает резкое ухудшение физических и физико-химических свойств почвы (структура, емкость поглощения, буферность). В почвенном растворе появляются свободные ионы алюминия и марганца, токсичные для растений. Подвижность же некоторых микроэлементов (например, молибдена) уменьшается, растения испытывают в них недостаток.

Повышенная кислотность угнетает почвенные организмы, прежде всего нитрификаторы и азотфиксирующие бактерии (клубеньковые и свободноживущие), почвенную фауну (дождевые черви, клещи,



ногохвостки). В целом биологическая активность кислой почвы гораздо ниже, чем нейтральной.

Содержание в пахотной почве щелочноземельных оснований снижается; параллельно идет подкисление почвы. Основными причинами повышения кислотности являются вынос кальция и магния с урожаем и вымывание их из почвы.

Растения с урожаем с 1 га выносят от десятков до нескольких сотен килограммов кальция и магния в зависимости от культуры и величины урожая. Больше всего кальция и магния потребляют капуста, люцерна, клевер, которые отличаются высокой чувствительностью к повышенной кислотности почвы.

Потери кальция и магния в результате выщелачивания зависят от почвы и количества выпадающих осадков. Так, на кислых почвах может вымываться 200—300 кг/га, на карбонатных — значительно больше. На почвах легкого гранулометрического состава и при промывном водном режиме кальция и магния теряется больше.

Один из приемов оптимизации реакции почвенного раствора — *известкование* (внесение  $\text{CaCO}_3$ ). Известь оказывает многостороннее положительное действие на почву, нейтрализует органические кислоты в почве и вытесняет ионы водорода из поглощающего комплекса. Это способствует устранению обменной и значительному снижению гидролитической кислотности почвы, повышению степени насыщенности почв основаниями и увеличению емкости поглощения.

Улучшения почвенной реакции солонцовых почв достигают *гипсованием* (внесением  $\text{CaSO}_4$ ). В результате этого приема устраняется щелочная реакция, улучшаются физико-химические и биологические свойства почвы, облегчается их обработка, улучшается аэрация. Все это приводит к усилению микробиологической деятельности и улучшению плодородия почвы. Повышению эффективности гипсования способствуют глубокая вспашка, снегозадержание, применение удобрений, орошения. Действие гипсования сохраняется на протяжении 8—10 лет.

Интенсивное земледелие базируется на постоянном применении органических и минеральных удобрений. Эффективность минеральных удобрений с увеличением доз, как правило, снижается. Поэтому необходимо повышать коэффициенты использования питательных веществ, вносимых с

минеральными удобрениями. Основные направления повышения эффективности возрастающих доз NPK — выведение новых интенсивных сортов сельскохозяйственных культур, совершенствование состава и форм минеральных удобрений, разработка агротехнических приемов рационального использования удобрений.

Бездефицитный баланс питательных веществ необходимо создать на дерново-подзолистых почвах, отличающихся низким потенциальным плодородием, хорошей влагообеспеченностью и сниженной с этим высокой окупаемостью удобрений.

На почвах с большими валовыми запасами элементов питания растений (черноземы, пойменные земли) питательный режим можно значительно улучшить рациональной механической обработкой. В этом случае допустимо временное, более интенсивное использование почвенных запасов питательных элементов. Для этого усиливают биохимические и микробиологические процессы.

Наиболее эффективное использование почвенных или внесенных элементов питания растений возможно при создании оптимальных условий водно-воздушного режима почвы. При недостатке влаги растения не могут усваивать питательные вещества; при избыточном увлажнении возникает опасность значительных непроизводительных их потерь.

Рациональному использованию плодородных почв в решающей степени способствует высокая культура земледелия в хозяйстве: своевременное и качественное выполнение всех полевых работ, возделывание лучших районированных сортов культур, защита посевов от сорняков, вредителей и болезней.

Эффективность удобрений зависит от почвенно-климатических условий. Уровень плодородия почвы и состояние ее питательного режима влияют на выбор вида удобрения, определение соотношения N:P:K, доз и сроков внесения. В Нечерноземной зоне, где осадков выпадает больше, чем испаряется с поверхности почвы, применение удобрений — высокоэффективное мероприятие. В степной зоне, характеризующейся неустойчивостью водного режима почв из-за преобладания испарения с поверхности над количеством выпадающих осадков, первоочередными задачами являются проведение агротехнических мероприятий по накоплению и рациональному использованию влаги осадков и искусственное орошение почвы

### Задание 5:

1. Изучить раздел « Агрохимические показатели плодородия почвы и их воспроизводство»

2. Ответить на вопросы:

а) содержание питательных веществ

б) реакция почвенной среды

3. Построить модель плодородия для почвы ( задание у преподавателя) по форме:

Показатели плодородия и их параметры

Технологические и вещест-  
венные факторы плодородия

## Литература

1. Байдакова Е.В. Управление природно–техногенными комплексами: краткий курс лекций для магистров очной и заочной форм обучения по направлению 20.04.02 Природообустройство и водопользование / Е.В. Байдакова. – Брянск. Изд.- во Брянский Гау, 2019-68с.
2. Земледелие: учебник / под ред. Г.И. Баздырева. – М.: Инфра – М, 2022. – 608 с. (Высшее образование: Бакалавриат). (ЭБС Инфра-М).
3. Москаленко, А. П. Управление природопользованием: учебное пособие / А. П. Москаленко, В. А. Губачев, С. В. Ревунов. – Новочеркасск : Новочерк. инж.-мелиор. ин-т Донской ГАУ, 2019. – 391 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.
4. Почвоведение с основами геологии: учебник / Н.Ф. Ганжара, Б.А. Борисов – М.: Инфра – М, 2022. – 352 с. (ЭБС Инфра-М)
5. Природообустройство: учебник / А. И. Голованов, Ф. М. Зимин, Д. В. Козлов, И. В. Корнеев. – 2-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 560 с. – ISBN 978-5-8114-1807-7. – Текст : электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/212003> (дата обращения: 11.04.2023)

## Оглавление

Введение.....	3
1. Понятие об управлении.....	3
2. Задание 1.....	6
3. Управление плодородием почвы.....	7
4. Задание 2.....	11
5. Воспроизводство агрофизических показателей плодородия почвы...	12
6. Задание 3.....	21
7. Биологические показатели плодородия почвы и их воспроизводство.	22
8. Задание 4.....	38
9. Агрохимические показатели плодородия почвы и их воспроизводство.....	39
10. Задание 5.....	51
Литература.....	52