

ПРЕДИСЛОВИЕ

Программирование урожайности сельскохозяйственных культур – это система расчётных, организационных, агротехнических, агрохимических, защитных мероприятий, своевременное и высококачественное выполнение которых позволяет получить запланированную, экономически значимую урожайность полевых культур. При этом соблюдается экологическая безопасность и обеспечивается повышение плодородия почв.

Растение представляет собой сложный живой организм с определёнными закономерностями роста, развития, накопления органического вещества, взаимоотношениями в посеве с другими растениями.

С физиологической точки зрения задача возделывания сельскохозяйственных растений состоит в аккумуляции солнечной энергии в создаваемом ими органическом веществе. Исходным материалом для синтеза растениями органического вещества являются углекислый газ и кислород воздуха, водород и кислород воды, элементы почвенного питания.

В процессе эволюции растения выработали в себе способность к саморегуляции, которая является ответной реакцией на меняющиеся условия в среде обитания и обеспечивает пластичность растений, их приспособляемость к постоянно меняющимся экологическим факторам. Наибольшей продуктивности растения достигают при оптимальном обеспечении их факторами жизни. Оптимальное влияние фактора зависит от периода жизни растения. В каждой фазе роста и развития он не ограничивается однозначным показателем, а имеет определённый интервал, в границах которых действие фактора равнозначно.

Поэтому, располагая информацией о потенциальных возможностях растений и о конкретных параметрах экологических факторов, под влиянием которых формируется урожай, осуществив прогностические расчёты, разработав и своевременно выполнив всю технологию возделывания, можно получить запрограммированный урожай, величина которого научно predeterminedена заблаговременно.

Метод программирования урожайности предполагает учитывать не разрозненное, а комплексное, взаимосвязанное и взаимообусловленное влияние на организм растения факторов жизни. Сущность метода выращивания запрограммированных урожаев заключается в оптимизации условий произрастания сельскохозяйственных культур.

Тема 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ. ПРИНЦИПЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ. ФАКТОРЫ ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ НАУЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И РАСТЕНИЕВОДСТВА (4 часа)

Лекция 1. Теоретические основы программирования урожайности. Принципы программирования. Основные законы научного земледелия и растениеводства

1.1. Определение понятий урожая, урожайности, программирования урожайности. Принципы программирования урожайности.

1.2. Основные законы научного земледелия и растениеводства.

1.2. Физиологические, биологические, агрохимические, агрофизические, агрометеорологические, агротехнические принципы и основы программирования урожайности.

1.1. Определение понятий урожая, урожайности, программирования урожайности. Принципы программирования урожайности

Урожай – валовый сбор культуры в пределах одной организации, региона, страны. Это обобщенный термин, выражающий совокупность всей продукции, полученной в процессе деятельности по выращиванию сельскохозяйственных культур.

Урожайность – это экономический показатель, определяющий количество продукции, собранной с единицы площади (обычно в ц/га), указывающий на продуктивность и эффективность выращивания сельскохозяйственных культур.

Программирование урожайности – это разработка комплекса взаимосвязанных мероприятий, своевременное и качественное выполнение которых обеспечивает получение запланированного урожая.

Урожай зависит от биологических особенностей культуры, сорта, а также обеспеченности растений всеми факторами жизни, которые можно разделить на: почвенные условия (частично регулируемые факторы жизни), климатические и погодные условия (нерегулируемые факторы жизни). Величина урожая будет определяться потенциальными возможностями растения, степенью соответствия почвенно-

климатических условий биологическим особенностям культуры, уровнем оптимизации факторов жизни. Чем выше степень соответствия биологической потребности растений в факторах жизни и возможности среды обеспечить их этими факторами, тем выше реализуется генетический потенциал культуры.

По определению академика И. С. Шатилова, *программирование урожаев* – это разработка научно обоснованного комплекса взаимосвязанных расчетных, организационных, агротехнических, агрохимических, защитных и других мероприятий, своевременное и высококачественное выполнение которых обеспечивает получение предельно возможной запланированной урожайности сельскохозяйственных культур заданного качества. При этом предполагается обеспечение экологической безопасности и повышение плодородия почв, а, собственно, процесс формирования урожая осуществляется в соответствии с разработанной программой, учитывающей биологические особенности растений и почвенно-климатические условия региона.

И.С. Шатилов на основе обобщения научных опытов по фотосинтезу, минеральному питанию, водному режиму, продуктивности растений в посевах, использованию посевами ФАР для формирования урожаев обосновал экологические, биологические и агротехнические основы программирования урожаев. Им предложены десять принципов программирования.

Первые пять принципов предназначены для определения величины возможного урожая на основе:

1. Биоклиматических показателей.
2. Прихода ФАР и использования ее посевами.
3. Определения потенциальных возможностей культуры или сорта применительно к конкретным почвенно-климатическим условиям.
4. Фотосинтетического потенциала посевов.
5. Всестороннего учета и правильного применения основных законов и закономерностей земледелия, и растениеводства.

Остальные принципы составляют технологическую схему программированного возделывания культур:

6. Разработка системы удобрения с учетом эффективного плодородия почвы и потребности растений в питательных элементах, обеспечивающих получение запрограммированного урожая высокого качества.

7. Разработка комплекса агротехнических мероприятий для каждой культуры, направленных на получение запрограммированных урожаев.

8. Обеспечение оптимальной влагообеспеченности посевов.

9. Разработка конкретных мер по борьбе с болезнями и вредителями растений.

10. Использование ЭВМ для определения оптимального варианта агротехнических комплексов, обеспечивающих получение высокого урожая.

Первый принцип программирования урожаев состоит в определении уровня возможной урожайности по биогидротермическому потенциалу продуктивности фитомассы, который рассчитывается по балансу солнечной радиации, продуктивной влаге, сумме температур и продолжительности периода вегетации для конкретной географической зоны. Гидротермический показатель – совокупность двух метеорологических факторов – температуры и осадков, которые определяют количество и качество урожая. Например, во влажных тропиках урожайность биомассы достигает около 500 ц/га, а в арктическом климате – всего 2–3 ц/га. Такая разница уровней урожайности и определена различиями гидротермических показателей среды.

Второй принцип заключается в определении его уровня по коэффициенту использования растением фотосинтетически активной радиации (ФАР). Считается, что 1 кг сухой органической массы в среднем аккумулирует 4 тыс. ккал (с небольшим различием по видам). Зная приход ФАР за период вегетации, можно, планируя процент использования фотосинтетически активной радиации, определить потенциальную урожайность культуры (сорта).

А. А. Ничипорович разделил посевы сельскохозяйственных культур по использованию ФАР на следующие группы: обычные – 0,5–1,5 %, хорошие – 1,5–3,0 %, рекордные – 3,5–5,0 % и теоретически возможные – 6–8 %.

В орошаемых условиях при непрерывном использовании пашни посредством сочетания основных и промежуточных культур в севооборотах теоретические параметры становятся практическими. В соответствии с этим возникает необходимость применительно к различным почвенно-климатическим зонам планеты, разработать приемы и методы агротехники, а также создать сорта культур, которые при высоком уровне агротехники смогут обеспечивать использование не 2–3 % ФАР (как в настоящее время), а 4–5 %, приходящихся на единицу поверхно-

сти за весь период вегетации. Также необходимо разработать такие приемы возделывания культур, которые обеспечат усвоение посевами 3 % и даже 5 % ФАР за период со среднесуточными температурами выше 10°C.

Для получения высоких урожаев необходимо обеспечить внесение оптимального количества различных видов удобрений с учетом особенностей роста и развития растений и оптимизировать условия водоснабжения. Это позволит обеспечить усвоение посевом планируемого количества ФАР и получить планируемый урожай.

Третий принцип программирования урожаев включает определение потенциальных, генетически обусловленных возможностей культуры или сорта применительно к условиям, где предполагается их возделывание. Элементы, формирующие урожайность определяются непосредственно экспериментальным путем в полевых условиях. Также возможно использовать потенциальные характеристики сорта по результатам сортоиспытания.

Четвертый принцип заключается в формировании на поле, на котором возделывают культуру, такого фотосинтетического потенциала (ФП), который будет способствовать обеспечению запрограммированного уровня урожайности.

Пятый принцип программирования урожаев состоит в необходимости правильно применять законы земледелия и растениеводства.

Шестой принцип состоит в разработке системы удобрений с учетом эффективного плодородия почвы и потребности растений в питательных веществах, обеспечивающих получение планируемого урожая высокого качества. Для успешного выполнения этой задачи необходимы точные сведения о поступлении питательных веществ в растения по фазам развития и их распределении по отдельным органам растения.

При разработке системы удобрения встречаются три возможных случая:

1. получение более высоких урожаев при внесении небольших доз удобрений с одновременным обеднением почвы питательными веществами;
2. получение сравнительно высоких урожаев и поддержание уровня эффективного плодородия почвы на исходном уровне;
3. получение предельно возможных урожаев для данного сорта в конкретной местности при одновременном повышении эффективного плодородия почвы.

Седьмой принцип программирования урожаев предусматривает разработку комплекса агротехнических приемов исходя из специфических требований культуры и сорта. Во многих странах мира ученые разных специальностей разрабатывают модели растений, способных аккумулировать 5 % и более приходящей фотосинтетически активной радиации. Для реализации потенциальных возможностей новых сортов необходимо разрабатывать приемы их возделывания с учетом их биологических и физиологических особенностей.

Восьмой принцип заключается в обеспечении потребности растений в воде в орошаемом земледелии в оптимальных размерах, а в богарных условиях определять уровень урожайности исходя из сложившихся климатических условий. Этот принцип основан на научной разработке режимов орошения с учетом обеспечения оптимальной влажности почвы. В умеренной зоне на образование 1 кг зерна требуется 1 т воды.

Девятый принцип программирования урожаев состоит в обеспечении выращивания здоровых растений путем разработки мероприятий по борьбе с сорняками, вредителями, болезнями возделываемых культур, предупреждения полегания растений.

Десятый принцип предусматривает создание банка данных о биологических особенностях полевых культур, условиях их произрастания, возделываемых сортах, экспериментальных материалах, оценивающих различные агротехнические приемы и операции, использование современной вычислительной техники.

1.2. Основные законы научного земледелия и растениеводства

Правильное использование законов научного земледелия и растениеводства – одно из обязательных условий программирования урожая.

Классическими законами земледелия являются 6 законов.

Закон равнозначности и незаменимости факторов жизни растений. Сущность данного закона заключается в том, что все факторы жизни растений абсолютно равнозначимы и незаменимы. Для нормального функционирования растительного организма должен быть обеспечен приток всех факторов жизни растений как земных, так и космических, причем в оптимальных количествах. Этот закон дает четкое представление о том, что нет главных и второстепенных факторов.

Закон минимума. Суть закона – продуктивность поля находится в прямой зависимости от необходимой составной части пищи растения, содержащейся в почве в самом минимальном количестве.

Закон минимума, оптимума, максимума поясняет, что величина урожая определяется фактором, находящимся в минимуме; наибольший урожай осуществим при оптимальном наличии фактора; при минимальном и максимальном наличии фактора урожай невозможен. Смысл данного закона заключается в том, что наибольший урожай получается при оптимальном количестве фактора, уменьшение или увеличение его ведет к снижению урожая. Это хорошо прослеживается на примере любого фактора (температуры, элементов питания, влажности и т. д.).

Закон совокупного действия факторов жизни растений. Сущность закона в том, что все факторы жизни растений действуют не изолированно друг от друга, а в тесном взаимодействии. Исследованиями ряда ученых установлено, что действие отдельного фактора, находящегося в минимуме, тем интенсивнее, чем больше других факторов находится в оптимуме. Исходя из этого закона все мероприятия, направленные на повышение эффективности использования земли, необходимо осуществлять комплексно. Комплекс условий должен представлять единое целое, так как воздействие на один из элементов непрерывно повлечет за собой необходимость воздействия и на все остальные.

Закон плодосмена предусматривает получение более высоких урожаев при чередовании культур в пространстве и во времени, по сравнению с бессменными посевами культур. В основе этого закона лежит общебиологический закон единства и взаимосвязи растительных организмов и условий среды. Чередование культур обуславливается тем, что различные культуры по-разному оказывают влияние на свойства почвы и на окружающую среду.

Закон возврата питательных веществ. При систематическом отчуждении урожая с поля и без возврата использованных урожаем элементов питания и энергии теряется почвенное плодородие. Если же вынос веществ и энергии компенсируется и происходит с определенной степенью превышения, то почва не только сохраняет свое плодородие, но и повышает его.

Закон прогрессивного роста эффективного плодородия почв по мере интенсификации земледелия. Этот закон результативен, если работают все остальные законы. В противном случае рост эффективного

плодородия невозможен. Плодородие в этом случае либо не изменяется, либо значительно ухудшается (чаще всего).

К настоящему времени сформулирован ряд новых экологических и сельскохозяйственных законов, имеющих растениеводческую направленность.

Закон неравноценности и компенсирующего воздействия факторов среды – недостаток некоторых экологических факторов может быть компенсирован другим близким фактором.

Закон критических периодов (в жизни растений имеются периоды, в течение которых они наиболее чувствительно к недостатку того или иного фактора).

Закон взаимокompенсации регуляторных факторов (регуляторные факторы, выполняющие индуктивную роль в развитии растений, способны в своём взаимодействии к компенсации одного фактора другим).

Закон активности растений (растения обладают определенной степенью активностью в потреблении, поиске и подготовке факторов).

Закон целостности формирования урожая (конечный урожай полевых культур формируется всем онтогенезом растений, управлять урожаем можно на всех этапах вегетационного периода растений полевых культур, неблагоприятные условия вегетации могут снизить урожай при действии в любой период онтогенеза растений).

Закон районирования, основанный на единстве жизни и геохимической среды.

Закон единства «организм – среда» – закономерность, в соответствии с которой жизнь развивается в результате постоянного обмена веществом и информацией на базе потока энергии в совокупном единстве среды и населяющих её организмов.

Закон относительной независимости адаптации (высокая адаптивность к одному из экологических факторов не даёт такой же степени приспособления к другим условиям жизни).

Закон толерантности – лимитирующим фактором жизни организма (вида) может быть как минимум, так и максимум экологического воздействия, диапазон между которыми определяет величину выносливости, толерантности организма к данному фактору).

1.3. Физиологические, биологические, агрохимические, агрофизические, агрометеорологические, агротехнические принципы и основы программирования урожайности

Повышение культуры земледелия, выведение новых сортов, разработка новых приемов технологии возделывания полевых культур, накопление исходных данных о взаимосвязи с различными факторами роста и развития растений позволили расширить понимание принципов программирования урожая: физиологических, биологических, агрохимических, агрофизических, агрометеорологических, агротехнических.

Физиологические принципы программирования урожая предусматривают формирование посевов с оптимальными показателями площади листьев, чистой продуктивности фотосинтеза, фотосинтетического потенциала и продуктивности работы ассимилирующей поверхности, обеспечивающих получение заданного урожая. Каждому уровню урожая должны быть присущи свои фотометрические показатели, которые заблаговременно закладывают в программу. На их основе составляют графики формирования площади листьев и фотосинтетического потенциала. В течение периода вегетации контролируют нарастание листовой поверхности, принимают решения для регулирования факторами, влияющими на рост ассимилирующих органов и динамику накопления фотосинтетического потенциала.

Фотосинтетический потенциал – это показатель способности посевов сельскохозяйственных культур использовать солнечную энергию для фотосинтеза за период вегетации. Рассчитывается данный показатель умножением интегральной площади листовой поверхности растений ($\text{м}^2/\text{га}$) на число дней периода активной работы листьев.

Любой агротехнический прием, направленный на повышение урожайности, будет эффективен если он обеспечивает быстрое развитие и достижение оптимальной площади листьев; повышает продуктивность фотосинтеза; сохраняет листья в активном состоянии возможно более длительный период времени; способствует наилучшему использованию продуктов фотосинтеза для усиленного роста питающих и проводящих органов и накопления в них возможно большего количества органических веществ высокого качества, составляющих основной урожай растений. Например, при оптимальном почвенном питании листья кукурузы способны усваивать в 1,5–2 раза больше солнечной радиации, чем при средних условиях. При этом прирост биомассы на

удобренных почвах оказывается в 2–3 раза выше, чем на почвах среднего плодородия. Коэффициент использования фотосинтетически активной радиации с увеличением площади листьев также увеличивается в 2,5–3 раза.

Оптимальной принято считать такую площадь листьев, которая обеспечивает максимальный газообмен в посевах. Программирование – это разработка системы агротехнических мероприятий, направленных на максимальное использование солнечной энергии в процессе фотосинтеза. В первую очередь, это достигается за счет формирования посевов с оптимальной площадью листьев.

Биологические принципы программирования урожаев связаны с оптимизацией водного, воздушного, теплового и пищевого режимов почв; созданием автоматизированных систем регулируемого земледелия; управлением факторами среды обитания растений и реализацией потенциальной продуктивности современных сортов сельскохозяйственных культур. «Искусственное» растениеводство (камеры искусственного климата, теплицы и др.) в настоящее время носит характер контролируемого, управляемого и регулируемого объекта. Оно должно быть полностью охвачено методом программирования.

В естественных условиях на посевных площадях при программировании урожаев, регулируют отдельные факторы, которые обеспечивают наибольшую реализацию потенциальной продуктивности сортов. Это известкование почв, посевы и посадки культур в гребни, тепловые мелиорации (систематическое снегозадержание, мульчирование поверхности) и др.

Практически нереализованным остается фактор активизации деятельности полезной микрофлоры почвы, прежде всего за счет применения регуляторов роста растений и более масштабного использования микробиологических препаратов.

Агрохимические принципы программирования урожаев предусматривают обоснование экономически оправданных доз удобрений для посевов планируемой продуктивности с учетом агрохимических показателей почв; выноса питательных веществ урожаем; коэффициентов использования элементов питания из почвы и удобрений; получения продукции высокого качества при одновременном повышении плодородия почв; применение листовой диагностики для контроля питания растений в агрофитоценозах.

Для повышения окупаемости единицы удобрений необходимо выбирать такие технологии внесения, которые обеспечивают использова-

ние в них не менее 85–90 % азота, 40–45 % фосфора и 90–95 % калия (локальное, ленточное, прикорневое внесение и др.).

Агрофизические принципы программирования урожаев предусматривают оптимизацию физических и физико-химических свойств почв (объемная масса, удельная масса твердой фазы почвы, пористость, плотность, влагоемкость, водопроницаемость, теплоемкость и др.).

Пористость существенно зависит от плотности. Чем почва рыхлее, тем больше её пористость и воздухоемкость. Чтобы иметь достаточное количество кислорода в почве, необходимо поддерживать её в рыхлом состоянии. Например, всходы картофеля на уплотненных почвах с объемной массой 1,35–1,5 г/см³ появляются на 5–6 дней позднее, чем на почвах, где этот показатель равен 1,1–1,2 г/см³. Уплотнение почвы до 1,57–1,6 г/см³ приводит к полному загниванию высаженных клубней, которые не дают всходы.

Почвы с низким содержанием гумуса слабо аккумулируют солнечную энергию и обладают невысокой теплоемкостью. Такие почвы характеризуются повышенной теплопроводностью, что может приводить к гибели озимых зерновых культур и многолетних трав при их перезимовке.

Влагоемкость почвы оказывает влияние на густоту стеблестоя, особенно в период перезимовки культур. Так, в опытах И.В. Мосолова при оптимальной влажности почвы изреженность посевов составляла 4,5 %, при недостаточной – 26,3 %, а при избыточной – 47,6 %.

Программирование возможно только при создании оптимальных параметров агрофизических свойств почв.

Агрометеорологические принципы программирования урожаев предусматривают правильное использование климатических показателей для обоснования продуктивности посевов, прогноза условий периода вегетации, полегания растений, появления болезней, вредителей и др.

Неблагоприятные условия осенне-зимнего и ранневесеннего периода часто вызывают гибель озимых культур: вымерзание, вымокание, выпревание, ледяные корки и др. Эти показатели учитываются при программировании условий перезимовки озимых культур и многолетних трав.

При использовании методов программирования урожаев необходимо учитывать информацию служб гидрологии и агрометеорологии. Перспективным направлением является использование компьютерных

метеостанций, которые наряду с фиксацией метеорологических параметров позволяют прогнозировать, с определенным процентом вероятности, проявление на поле болезней и вредителей.

Агротехнические принципы программирования урожая заключаются в разработке и внедрении оптимальных технологий возделывания культур, обеспечивающих своевременное и высококачественное проведение всего комплекса работ с учетом биологических особенностей сорта. Важно соблюдать при этом нормы высева, густоту стояния растений, сроки и способы посева. Основная задача программирования заключается в способности формирования высокоурожайных посевов, с учетом складывающихся погодных условий, материально-технических ресурсов предприятия, при минимальных затратах труда.

Технология возделывания культуры должна предусматривать реакцию сортов на отдельные приемы агротехники. Установлено, что сорта полевых культур по-разному отзывчивы на применение удобрений. Потребление питательных веществ проходит неодинаково в вегетационный период по фазам развития у различных сортов растений одного вида, что в итоге приводит к различным прибавкам в урожайности.

Определение возможностей повышения урожайности посевов путем увеличения коэффициента использования солнечной радиации в процессе фотосинтеза является важным вопросом растениеводства. Эта проблема будет решена разработкой комплекса взаимосвязанных агротехнических мероприятий, своевременным и качественным их выполнением с учетом биологических особенностей сортов, основных законов земледелия и растениеводства.

Лекция 2. Факторы жизни растений

- 2.1. Регулируемые и нерегулируемые факторы.
- 2.2. Космические факторы жизни растений.
- 2.3. Земные факторы жизни растений.

2.1. Регулируемые и нерегулируемые факторы

Для нормального функционирования агроценозов полевых культур необходимо четыре основных жизненно важных фактора – свет, тепло (космические факторы), влага и питательные вещества (земные факторы). Каждый фактор имеет свои экологические оптимумы и пределы, позволяющие культурам проявлять свою продуктивность, или, влияя

отрицательно, способствует снижению урожайности до такого уровня, при котором еще возможно сельскохозяйственное производство.

Сельскохозяйственные растения произрастают в непрерывно изменяющихся условиях внешней среды – суточные и сезонные колебания освещения, температуры, влажности почвы и воздуха, а также колебания плодородия почвы и др. В различных районах и областях Республики Беларусь выращиваемые растения попадают в разные почвенно-климатические условия, которые необходимо обязательно использовать для разработки высокоэффективной агротехники возделывания сельскохозяйственных культур.

На рост, развитие растений, урожай и его качество влияет комплекс факторов внешней среды. Все факторы, определяющие рост, развитие растений, их урожайность и качество условно разделены на нерегулируемые, частично регулируемые и регулируемые.

К *нерегулируемым* факторам относятся: продолжительность безморозного периода, весенне-летний возврат заморозков, напряженность инсоляции по месяцам, сумма активных температур, скорость ветра, относительная влажность воздуха (суховеи), сумма осадков, распределение осадков по месяцам, интенсивность осадков, град, зимняя температура воздуха, толщина снежного покрова и продолжительность, когда земля покрыта снегом, рельеф местности, гранулометрический состав почвы

К *частично регулируемым* факторам относятся: распределение снега по полю, влажность почвы, влажность воздуха в фитоценозе, водная и ветровая эрозии, гумусированность почвы, реакция почвенного раствора, емкость поглощения почвенно-поглощительного комплекса, микробиологическая активность почвы, уровень обеспеченности элементами питания.

В группу *регулируемых* факторов входят: культура, сорт, степень засоренности посевов, степень поражения растений болезнями и повреждения вредителями, обеспеченность элементами питания (азотом, фосфором, калием, микроэлементами), кислотность почвы рН почвы, аэрация почвы.

За счет нерегулируемых факторов – важнейших показателей агроклиматических ресурсов, потенциал продуктивности пашни в Беларуси в среднем по стране составляет 31,2 балла; в Западной Европе, Северной Америке от 30–60 до 60–80 баллов. Основные нерегулируемые факторы и значения их показателей по странам представлены в табл. 1

Т а б л и ц а 1. **Нерегулируемые факторы**

Показатель	Республика Беларусь	Российская Федерация	Западная Европа	Америка
Продолжительность безморозного периода, дн	124–177	90–180	150–240	150–240
Сумма активных температур, °С	2017–2644	1000–4000	2500–6000	2500–8000
Количество осадков, мм	550–680	250–600	900–1000	800–1000

Частично регулируемые факторы – это те, которые в принципе можно регулировать, но регулирование осуществляется на малой площади из-за большой энергоемкости или низкой эффективности приема.

Третья группа факторов – управляемые факторы – это те, которые человек может регулировать на больших площадях. Главная задача агронома заключается в том, чтобы с помощью регулируемых факторов свести к минимуму негативное влияние нерегулируемых и частично регулируемых факторов на рост, развитие растений, урожай и его качество. При этом ни один фактор не может быть заменен другим, по своему физиологическому действию все они имеют равное значение для жизни растения.

2.2. Космические факторы жизни растений

Свет. Лучистая энергия солнца является космическим фактором, не регулируемым человеком. Солнечная радиация, её спектральный состав, интенсивность, суточная и сезонная периодичность определяют жизнь растений. Поэтому строение, форма и функции растений хорошо приспособлены к усвоению лучистой энергии Солнца в процессе фотосинтеза.

Количество поглощенной энергии зависит от оптических свойств растений, интенсивности, спектрального потока и продолжительности солнечного сияния. Следовательно, чтобы оценить значение этих факторов, управлять процессами формирования урожаев, необходимо знать количественную и качественную характеристику солнечной радиации.

Источником энергии солнечной радиации являются термоядерные реакции на Солнце. В результате этих реакций освобождается огромное количество энергии, вызывающих движение элементарных частиц солнечной материи, излучающей электромагнитные волны разнооб-

разной частоты и длины. Длина электромагнитных волн, достигающих Земли, находится в пределах от 295 до 5000 нм (10^9 м).

Всякий фотохимический процесс, согласно закону Гротгуса (первый закон фотохимии: химическую реакцию в веществе может вызвать только поглощённая часть падающего на него света), совершается лишь под воздействием лучей, которые поглощаются реагирующей системой.

Установлено, что в синих лучах фотосинтез бывает обычно значительно менее интенсивным, чем в красных, но при всем этом синий свет может вызывать в листьях, кроме фотосинтеза, другие фотохимические реакции, которые в энергетическом отношении не доступны красным лучам, но могут быть важными в физиологическом отношении. В этом заключается биологический смысл наличия у хлорофилла второго максимума поглощения в сине-фиолетовой части спектра и присутствие в растениях каротиноидов, поглощающих синие лучи.

Способность хлорофилла поглощать наиболее сильно именно красные лучи в биологическом отношении чрезвычайно важна: растения усваивают лучи, несущие много энергии и используют их с наиболее высоким коэффициентом полезного действия.

Пройдя через атмосферу земли, солнечная радиация значительно ослабевает вследствие рассеяния и поглощения лучей молекулами газов, парами воды и атмосферной пылью. Солнечный свет, проходя через атмосферу, рассеивается как на молекулах газов, так и на более крупных частицах, взвешенных в воздухе: пылинки, капельки воды, кристаллы льда. Выявлено, что с уменьшением длины волны рассеяние значительно увеличивается (табл.2).

Таблица 2. Рассеивание лучистой энергии в идеальной атмосфере

Цвет	Длина волны, нм	Рассеяние	Цвет	Длина волны, нм	Рассеяние
Красный	700	1,0	Ультрафиолетовый	410	8,5
Оранжевый	620	1,6		375	12,0
Желтый	570	2,2		350	15,9
Зеленый	520	3,3		325	21,3
Синий	470	4,9		310	26,0
Фиолетовый	440	6,4		300	30,0

Например, область излучения фиолетовых лучей с длиной волны 440 нм рассеивается в 6 раз интенсивнее, чем область максимума поглощения хлорофилла (680 нм).

Из этого следует также, что по мере снижения солнца над горизонтом прямая солнечная радиация относительно обедняется коротковолновыми ультрафиолетовыми и сине-фиолетовыми лучами. Максимум излучения, следовательно, перемещается в сторону длинных волн, поэтому солнце «краснеет» при малых высотах. Одновременно увеличивается доля рассеянной радиации, которая в отличие от прямой солнечной, значительно богаче коротковолновыми лучами, что и обуславливает голубой цвет неба.

Наряду с рассеиванием, в атмосфере происходит поглощение лучей некоторых областей спектра и, следовательно, также и изменение интенсивности и спектрального состава солнечной радиации. В поглощении радиации большую роль играют переменные составные части атмосферы, особенно водяной пар, озон, углекислый газ и пыль.

Озон находится в высоких слоях атмосферы в виде рассеянного слоя, простирающегося до 60 км от поверхности земли в сильно разреженном состоянии. Если бы весь озон атмосферы сконцентрировать при нормальных условиях (760 мм давления и 0⁰ температуры), то он составил бы слой толщиной всего 3 мм. Несмотря на совсем малое количество, роль озона в атмосфере исключительно велика, вследствие чрезвычайно сильного поглощения озоном как солнечной радиации, так и земного излучения. Озону принадлежит широкая полоса поглощения в ультрафиолетовой части спектра с максимумом около 255 нм. Благодаря этому к земной поверхности не доходит самая коротковолновая часть ультрафиолетовой радиации короче 295 нм, обладающая исключительно сильным витаминным (пер. с латин. *vita* – жизнь, *cide* – убивать) действием.

Углекислый газ. До высоты 4 км содержание углекислого газа в воздухе поддерживается почти на постоянном уровне, в среднем 0,03 % по объему, а выше начинает уменьшаться.

Углекислый газ легко проникает для лучистой энергии солнца и мало проникает для земного излучения в области 12–17 мкм. Благодаря этому наличие углекислого газа в воздухе оказывает согревающее влияние на земную поверхность. Углекислый газ поглощает до 18 % земного излучения.

Пыль. Радиационное значение пыли, взвешенной в атмосфере, довольно велико. Она уменьшает количество солнечных лучей, доходя-

щих к земной поверхности; с другой стороны, за счет рассеяния увеличивается количество рассеянной радиации. Пыль иногда может значительно изменить спектральный состав солнечной радиации. Нагретая солнечными лучами пыль нагревает атмосферу. Пыль мешает земному излучению уходить с земной поверхности, благодаря чему при запыленной атмосфере происходит меньшая потеря тепла земною путем излучения. Наличие пыли в атмосфере способствует конденсации водяных паров, а, следовательно, и образованию облаков и туманов.

Водяной пар атмосферы играет наиболее важную роль в поглощении солнечной радиации. Большая часть полос поглощения водяного пара сосредоточена в инфракрасной области спектра. Водяные пары целиком поглощают лучистую энергию от 5,5 до 7 нм; от 8 до 12 нм – пропускают; затем с увеличением длины волны поглощение увеличивается, а далее 20 нм происходит полное поглощение. В видимой части спектра также находятся отдельные линии поглощения водяными парами. В атмосфере находится от 4% до 0,01 % по объему водяных паров. Поэтому часть лучистой энергии солнца не доходит до земной поверхности, поглощаясь водяными парами атмосферы. Чем больше водяных паров в атмосфере, тем больше поглощение в инфракрасной части спектра и тем меньше доходит радиации до земной поверхности. Водяной пар до 60 % задерживает земное излучение.

Таким образом, содержащиеся в атмосфере углекислый газ и водяные пары задерживают 78 % земного излучения и этим оказывают утепляющее действие на землю.

В листьях есть два типа хлорофилла: хлорофилл «а» и хлорофилл «b». Хлорофилл «а» сильнее всего поглощает свет в фиолетово-голубой и оранжево-красной части спектра. Хлорофилл «b» поглощает свет преимущественно синей части спектра. Минимум поглощения света приходится на зеленые лучи, чем и объясняется зеленая окраска листьев. Лист поглощает в основном видимые и ультрафиолетовые лучи. У нормальных зеленых листьев поглощение максимально в синефиолетовых (400–500 нм) и красных (670 нм) и минимально в области зеленых лучей (550 нм).

Растения, принадлежащие к различным экологическим группам, практически, не отличаются в поглощении сине-фиолетовых и красных лучей (поглощение в среднем составляет 90 %). Различия касаются лишь зелёных лучей. Растения с ксероморфными листьями (характерные для засушливых условий) поглощают зеленые лучи на 80 %, у

мезофитов поглощение составляет в среднем 70 %. Поглощение зеленого света листьями, окрашенными антоцианами, составляет 95 %.

При оценке влияния светового фактора на рост, развитие и продуктивность растений учитывают два его параметра: интенсивность освещения и длину светового дня.

Интенсивность освещения. Листья растений поглощают в процессе фотосинтеза не весь световой поток, а фотосинтетически активную радиацию – фотосинтетически активные лучи с длиной волны 400–800 нм. Именно эти лучи хорошо поглощаются зеленым пигментом хлоропластом – хлорофиллом и являются энергетической основой фотосинтеза. Однако современные растения используют лишь небольшую долю ФАР 1–3 %, посевы с рекордными урожаями – до 4–5 % ФАР. Фотосинтетически активная радиация от общей лучистой (интегральной) радиации солнца составляет 45–50 %.

Сущность фотосинтеза заключается в том, что под действием энергии солнечного луча, поглощаемой хлоропластами листьев и других зеленых органов растений, вода разлагается (фотолиз воды). При этом образуется свободный кислород, который выделяется в окружающий воздух, а водород, присоединяется к углероду углекислого газа, восстанавливает его, и в результате образуются органические вещества – углеводы, белки, витамины и др.

Длина светового дня. По реакции на длину светового дня (фотопериодизм) полевые культуры делятся на растения длинного и короткого светового дня. У растений длинного светового дня (пшеница, овес, горох и др.) переход к цветению, оплодотворению и созреванию происходит при продолжительности 14–16 часов (до 22 июня). У растений короткого дня (просо, кукуруза, сорго, подсолнечник и др.) – при коротком дне продолжительностью 10–12 часов (после 22 июня). У этих групп растений накопление и перемещение углеводов происходят по-разному – у растений длинного дня они идут интенсивнее при более продолжительном световом дне, главным образом в дневные часы, а у растений короткого дня – на умеренно коротком световом дне, в ночные часы. Существуют и фотопериодически нейтральные растения (фасоль обыкновенная, нут, гречиха и др.).

Формирование урожая полевых культур находится в тесной взаимосвязи с площадью листьев, так как только хорошо развитая листовая поверхность обеспечивает высокую фотосинтетическую деятельность посева и накопление наибольшего количества сухой надземной биомассы.

Динамика формирования площади листьев в полевых агрофитоценозах подчиняется определенной закономерности, характерной практически для всех сельскохозяйственных культур.

После появления всходов площадь листьев в посевах медленно повышается, затем темпы нарастания заметно увеличиваются. К моменту прекращения образования боковых побегов у одних культур и завершения роста растений в высоту у других, площадь листьев достигает максимальной за вегетацию величины, а затем постепенно снижается в связи с пожелтением и отмиранием нижних листьев. Площадь листьев различных сельскохозяйственных растений может сильно варьировать в течение вегетации в зависимости от условий тепло- и влагообеспечения, наличия элементов питания, видовых и сортовых особенностей, применяемых агротехнических приемов и т. д. В засушливых условиях максимальная площадь листьев очень часто составляет всего 5–10 тыс. м²/га, а при избыточном увлажнении и азотном питании она может увеличиваться до 60–70 тыс. м²/га. При этом, считается, что при индексе листовой поверхности 4–5, посев как оптическая фотосинтезирующая система работает в оптимальном режиме, поглощая наибольшее количество фотосинтетически активной радиации, эффективно включая ее в процесс создания органического вещества, идущего на формирование урожая.

Вклад в урожай ассимиляционного аппарата определяется площадью листьев в разные фазы развития, минимальной и максимальной площадью листьев посева, величиной фотосинтетического потенциала (ФП), чистой продуктивностью фотосинтеза (ЧПФ).

Тепло – важный фактор жизни растений. Изменение температурных условий на земле связано с закономерной суточной и сезонной ритмичностью прихода солнечной энергии.

Оптимальное развитие и функционирование корневой системы и надземных органов растений тесно связано с историей приспособления к суточной и сезонной ритмичности изменения среды обитания – почвы и воздуха.

Надземные и подземные органы растения, хотя физически связаны между собой и физиологически коррелируют друг с другом, тем не менее, филогенетически, физиологически, морфологически различны, обитают в различных средах, вследствие чего имеют свою биологическую индивидуальность, выраженную в различных требованиях к условиям внешней среды для оптимального функционирования.

Радченко С. И. было экспериментально доказано, что растения

лучше растут и развиваются, дают более высокий урожай сырой и сухой массы надземных органов зерна и корней при отрицательном температурном градиенте, то есть когда температура почвы в зависимости от растения на 6–8 °С, а иногда на 10–12 °С, ниже температуры воздуха. При положительном температурном градиенте, т.е. когда температура почвы выше температуры воздуха, наоборот, растения развиваются хуже. И, наконец, при нулевом температурном градиенте, когда температура почвы равна температуре воздуха, рост и развитие растений занимают промежуточное положение между отрицательным и положительным градиентами.

На разных стадиях развития и этапах органогенеза растения требуют различных температурных условий для наилучшего функционирования. Как правило, для большинства видов и сортов культурных растений эти условия благоприятно складываются в течение вегетационного периода. Но нередко наблюдаются и значительные отклонения температурных условий от потребностей в них растений, что в значительной степени отражается на темпах развития, росте, органообразовательных процессах, а также на величине и качестве урожая.

Установлено, что у многих зерновых культур (овес, яровая и озимая пшеница и др.) наиболее мощная корневая система развивается при температуре почвы 12–16 °С. При таких температурах первыми начинают развиваться корни, и их длина обычно достигает нескольких сантиметров к тому времени, когда трогается в рост почечка. При высоких температурах (29–32 °С), наоборот, почечки появляются на поверхности почвы прежде, чем начинается заметное развитие корней.

По данным Носатовского А. И., корни пшеницы, выросшие при температуре +20 °С, сильно разветвлены, очень тонки и имеют белый цвет. Дальнейшее повышение температуры при выращивании пшеницы увеличивает ветвление, а при температуре +40 °С корни приобретают вид войлочных комков. Причем, повышение температуры почвы от +20 до +40 °С создает худшие условия корневого питания растений. Особенно снижается поглощение растениями фосфора, в результате чего резко уменьшается сухой вес биомассы пшеницы.

С другой стороны, низкие весенние температуры, благоприятные для развития мощной корневой системы, задерживают процессы нитрификации в почве, что приводит к азотному голоданию растений. Данный факт подтверждает значение ранневесенних азотных подкормок растений. При оптимальном сочетании условий освещения, питания, увлажнения, температура играет решающую роль в процессе

дифференцировки конуса нарастания пшеницы. Низкая температура (ниже +15 °С) задерживает дифференциацию конуса нарастания, а высокая, наоборот, вызывает быструю дифференциацию зачаточного колоса и его медленный рост, в результате чего образуется небольшой колос с малым числом зерен в нем.

Период формирования пыльников и завязи является очень чувствительным по отношению к неблагоприятным метеорологическим условиям. Низкая относительная влажность воздуха и высокая температура в этот период, а также в период формирования и налива зерна приводят к резкому снижению урожая.

Температура окружающей среды оказывает существенное влияние на все стороны жизнедеятельности растений: интенсивность фотосинтеза и дыхания, скорость и направленность превращения и передвижения веществ, отложения веществ в запасующих органах, поглощения воды и минеральных веществ, транспирацию и т.д., что в конечном счете, сказывается на характере формирования урожая.

Для характеристики теплообеспеченности сельскохозяйственных культур существуют различные агроклиматические показатели: сумма активных температур, сумма эффективных температур, сумма температурных показателей или индексов скорости развития растений, сумма степенных значений температур и др.

Активные температуры положительно действуют на все жизненные процессы растительных организмов. Для большинства культур, возделываемых в Республике Беларусь, ими являются температуры выше +5...+10 °С. Сумма температур выше 10 °С может быть общим для всех культур показателем ресурсов тепла вегетационного периода и требовательности сельскохозяйственных культур к теплу.

При оценке теплообеспеченности и установлении климатических границ сельскохозяйственных культур Шашко Д. И. предлагает различать суммы климатических, биологических и биоклиматических температур.

Суммы климатических температур выражают общие ресурсы тепла в данной местности. Они слагаются из средних суточных температур за период возможной вегетации культур, то есть за период в пределах лимитных температур развития растений.

Суммы биологических температур выражают потребность растений и составляются из средних суточных температур непосредственно за период вегетации данного вида и сорта.

Суммы биоклиматических температур выражают количество тепла,

обеспечивающее ежегодное (или достаточно частое) созревание растений или наступление хозяйственно-ценных фаз развития. Численно сумма биоклиматических температур равна сумме биологических температур, увеличенной на определенное число для гарантии наступления нужных фаз развития.

Условие для определения суммы биоклиматических температур выше 10 °С имеет следующий вид:

$$\sum t_{6к} > 10^{\circ} = \sum t_6 + P_k + П_{ш} + П_{м} + П_{к} + 200 (250,300),$$

где, $\sum t_{6к} > 10^{\circ}$ – сумма биоклиматических температур выше 10 °С;

$\sum t_6$ – сумма биологических температур;

P_k – разность сумм температур в пределах лимитов температур развития растений и за период с температурой выше 10°;

$П_{ш}$ – поправка на широту местности,

$П_{м}$ – поправка на микроклиматические особенности местоположения,

$П_{к}$ – поправка на континентальность,

200° (250, 300) – отклонения сумм климатических температур, соответствующие обеспеченности 90%.

Величины климатических разностей (P_k) для некоторых культур приведены в табл. 3.

Величина $П_{м}$ на микроклиматические особенности местности определяется преимущественно морозоопасностью местоположений.

Таблица 3. Климатические разности между суммами температур выше +10 °С и в пределах лимитных температур

Культура	Лимитные температуры, °С		Средние климатические разности сумм температур (P_k)
	всходов	созревания	
Пшеница, рожь, овес, ячмень, горох, лен	5	10	-150
Кукуруза, просо	10	10	0
Подсолнечник, картофель	8	10	-50
Морковь	5	8	-200
Свекла	8	8	-150

Поправку на микроклиматические особенности местности можно в среднем принять для северных широт (55–65°) – 100–200°С, для средних широт (45–55°) – 200–300°С (знак плюс для относительно холод-

ных и минус для теплых местоположений). Более, точно расчеты можно сделать, пользуясь агроклиматическими справочниками.

Для мест с очень континентальным и резко континентальным климатом (Средняя Азия, Казахстан и др.) обязательна поправка на континентальность. Республика Беларусь не относится к странам с континентальным климатом, поэтому данным показателем можно пренебречь.

Зная суммы климатических и биоклиматических температур, необходимых для произрастания растений, можно приблизительно определить вероятность созревания или достижения культурой определенной фазы развития.

2.3. Земные факторы жизни растений

Вода в жизни растений имеет первостепенное значение. Прежде всего она является источником водорода, как питательного элемента, составляющего около 7% сухой биомассы растений. Оптимальное функционирование клеток и тканей растений осуществляется при достаточном насыщении водой. Содержание воды в клетках в период интенсивно совершающихся жизненных процессов достигает 70–80 %.

Высоким уровнем содержания воды в тканях обеспечивается тургорное состояние органов растений, что является важным условием нормального их функционирования. Благодаря воде в протоплазме поддерживаются характерные для данной системы интенсивность и направленность действия ферментов и превращения веществ.

Роль воды в жизни растений во многом определяется присущими ей физическими свойствами. Способность воды пропускать лучи видимой части спектра и близкой к ней ультрафиолетовой области имеет важное значение для процесса фотосинтеза. Поглощение водой далеких инфракрасных лучей оказывает существенное влияние на температурный режим растений. Являясь основным растворителем, вода служит средой непрерывно совершающихся в растениях процессов превращения веществ и передвижения их из одних органов в другие.

Из всех известных жидкостей вода обладает наивысшей удельной теплоемкостью. Скрытая теплота парообразования равна 686 кал/г при 20 °С. Вследствие этого вода, пропитывающая все ткани растения, является фактором, способствующим относительной стабилизации его температуры, предохраняя растения от перегрева.

Обладая очень высоким поверхностным натяжением, уступая в

этом отношении только ртути, вода оказывает существенное влияние на адсорбционные процессы, поглощение и передвижение веществ по тканям растений.

Молекулам воды присуще резко выраженное свойство полярности, что обуславливает определенную ориентацию диполей в электрическом поле, т.е. явление гидратации, имеющее важное значение в создании структуры протоплазмы.

Согласно современным представлениям, молекулы воды в протоплазме могут находиться в двух состояниях: часть их составляет каркас (решетку), определяющий структуру воды, образуемый водородными связями между молекулами, другая часть заполняет полость этого каркаса.

Таким образом, вода в протоплазме является не нейтральной средой по отношению к элементам протоплазмы, а совместно с ними составляет единую общую структуру протоплазмы.

Отнятие воды из клетки сопряжено с нарушением ее структуры, разрывом многочисленных водородных связей и преодолением электростатических сил притяжения. Поэтому при отнятии воды наблюдается сопротивление, которое принято называть водоудерживающей силой. Извлечение различных частей воды, отличающихся разной степенью упорядоченности структуры, встречает и различное сопротивление (различные водоудерживающие силы).

Различают следующую классификацию фракций состояния воды в растении:

1. Прочносвязанная, это большая часть воды, удерживаемой при хемогидратации ионов и молекул низко- и высокополимерных соединений;

2. Слабосвязанная – вода диффузионных слоев гидратационных сфер, молекулы которой сохранили подвижность, а также вода структурносвязанная и осмотически поглощенная;

3) Свободная – капиллярно всасываемая вода оболочек и часть осмотически поглощенной воды клеточного сока, не входящей в состав гидратационных сфер вокруг ионов и молекул.

Различие свойств свободной и связанной воды определяет различное значение их в жизни растений.

Содержание свободной воды определяет интенсивность физиологических процессов, содержание же связанной воды – устойчивость растений к неблагоприятным условиям среды. Повышение содержания свободной воды ведет к усилению процессов роста, обмена веществ, а

повышение содержания связанной воды способствует сохранению более высокой оводненности растений при засухе, а значит и более высокого уровня синтетических процессов, что в конечном итоге определяет меньшую потерю урожая при засухе. Повышение содержания связанной воды играет положительную роль и при низких температурах, так как эта вода имеет пониженную температуру замерзания.

Многочисленными исследованиями установлена тесная связь между содержанием воды в листьях растений и интенсивностью, а также с чистой продуктивностью фотосинтеза. Интенсивность фотосинтеза у растений, произрастающих при недостаточной влажности почвы, значительно ниже, чем у растений, растущих в условиях оптимальной влажности почвы. В состоянии завядания интенсивность фотосинтеза растений чрезвычайно сильно понижается. Но в зависимости от вида растений, а также от степени завядания их после восстановления тургора, растения или приходят в нормальное состояние, или на определенное время, а в некоторых случаях и навсегда утрачивают значительную часть своей фотосинтетической активности.

Такие растения как подсолнечник, гречиха, сахарная свекла, пшеница и другие, произрастая при недостаточном водоснабжении, приобретают способность развивать высокую интенсивность фотосинтеза в момент достаточной влажности почвы.

Ряд ученых придерживаются мнения, что, всякое завядание, будь то длительное или непродолжительное, многократное или однократное, повышает интенсивность фотосинтеза. Однако также существует мнение, что некоторое повышение интенсивности фотосинтеза у растений, перенесших засуху, не приводит к повышению урожая, так как они имеют, как правило, значительно меньшую площадь листьев.

В молодых растениях, находящихся еще в виде посевного материала, в результате подсушивания происходит глубокая перестройка биохимических и физиологических свойств, что в последующем развитии растения приводит к более интенсивному обмену веществ, повышению интенсивности фотосинтеза, усилению роста и, в конечном счете, к значительному (на 10–40 %) повышению урожая в условиях засухи.

Значительные изменения в зависимости от влажности почвы претерпевает важный показатель водного режима растений – транспирация.

Транспирация – это процесс испарения воды растением, преимущественно через устьица листьев. Установлено, что при водном дефиците у растений резко снижается интенсивность транспирации. При этом в

условиях засухи интенсивность транспирации находится в прямой коррелятивной зависимости от содержания наиболее слабосвязанной и в обратной – от содержания наиболее прочносвязанной воды. Однако при засухе исчезает наблюдаемая при оптимальном водоснабжении растений зависимость интенсивности транспирации от метеорологических условий и выдвигается на первый план зависимость ее от соотношения более или менее упорядоченной воды в клетках листьев.

Для количественного определения транспирации преимущественное значение имеет учет изменений, связанных с возрастом растений. Что касается суточных изменений, то они на общем размере транспирации сказываются незначительно. Об этом свидетельствуют высокие (близкие к единице) коэффициенты корреляции суточной транспирации с метеорологическими факторами.

Влагообеспеченность растений зависит не от общего содержания влаги в почве, а от содержания той ее доли, которая доступна растениям. Размер этой доли определяется воднофизическими свойствами. К их числу относятся влагосорбционная способность почвы, ее водоудерживающая способность и ее водопроницаемость.

Влагосорбционная способность почвы – это ее свойство поглощать и прочно удерживать влагу (пары или жидкую воду) за счет сорбционных сил (адсорбции поверхностью почвенных частиц). Она напрямую зависит от дисперсности почвы: чем тяжелее почва (больше глины) и выше содержание гумуса, тем выше её способность связывать воду.

Водоудерживающая способность почвы – это ее свойство удерживать влагу от стекания под действием силы тяжести, обеспечиваемое сорбционными и капиллярными силами. Она зависит от гранулометрического состава, количества гумуса и пористости: глинистые почвы удерживают много влаги (часто недоступной), песчаные – мало, а суглинки с высоким содержанием гумуса считаются оптимальными для растений.

Водопроницаемость почвы – это ее способность впитывать и пропускать воду с поверхности в нижние горизонты, измеряемая объемом воды, прошедшей через единицу площади за время (обычно мм/мин или см/час). Показатель зависит от механического состава, структуры, плотности и пористости почвы, при этом песчаные почвы обладают максимальной проницаемостью, а глинистые – минимальной.

Силы, удерживающие воду в почве в пределах, характеризующихся определенными гидрологическими константами:

Полная влагоемкость (ПВ) представляет собой наибольшее количе-

ство воды, которое может содержаться в почве при условии полного заполнения водой всех пустот и пор.

Полевая влагоёмкость почвы – количество воды, фактически удерживаемое почвой в природных условиях в состоянии равновесия, когда устранено испарение и дополнительный приток воды.

Наименьшая влагоёмкость (НВ) – наименьшее количество пленочно подвешенной воды, которое может удерживаться в почве. При отсутствии подпирающего действия грунтовых вод, что имеет место, например для корнеобитаемого (1–1,5 м) слоя почвы лишь при глубине их залегания не выше 2,5–3 м, НВ оказывается равной так называемой полевой влагоёмкости (ППВ). Если же грунтовые воды залегают выше, то ППВ корнеобитаемого слоя почвы по величине оказывается выше НВ и определяется ее капиллярной влагоёмкостью (КВ).

Влажность разрыва капилляров (ВРК) – влажность почвы, при которой подвешенная вода в процессе испарения и поглощения корнями растений теряет сплошность и перестает передвигаться к испаряющей поверхности.

Влажность завядания (ВЗ) – влажность почвы, при которой растения начинают обнаруживать признаки устойчивого завядания, не исчезающие при помещении их в атмосферу, насыщенную водяным паром. В полевых условиях при такой влажности растения не восстанавливают тургорное состояние листьев даже в ночные часы при минимальной транспирации. Влажность завядания часто в литературе называют коэффициентом завядания.

Максимальная гигроскопичность (МГ) – наибольшее количество воды, которое почва может поглотить из воздуха, почти насыщенного водяным паром.

Максимальная адсорбционная влагоёмкость (МАВ) – наибольшее количество воды, которое может содержаться в почве, удерживаясь силами адсорбции.

Удержание воды в интервале от полной (ПВ) до наименьшей влагоёмкости (НВ) определяется капиллярными силами и сопротивлением водоупорного слоя. При дальнейшем понижении влажности преобладающее значение приобретают адсорбционные силы, а при снижении влажности ниже максимальной адсорбционной влагоёмкости (МАВ) – адсорбционные силы.

Почва играет ключевую роль в жизни и развитии растений. Она является их фундаментом, предоставляет питательные вещества и воду, необходимые для их жизнедеятельности.

В почве содержится широкий спектр макро- и микроэлементов, таких как азот, фосфор, калий, магний, железо и др. Растения через свои корни поглощают эти элементы, которые необходимы для их жизнедеятельности и роста. Недостаток какого-либо из этих элементов может привести к ослаблению растения или даже его гибели.

Почва собирает и сохраняет влагу, что особенно важно в периоды засухи. Растения через корни поглощают воду из почвы и используют ее для фотосинтеза и поддержания клеточной активности. Без достаточного запаса воды в почве растения могут страдать от обезвоживания и высыхания.

Почвенные частицы образуют структуру почвы, которая представляет опору для корней и защищает их от механических повреждений. Кроме того, почва служит барьером для защиты корней от вредных организмов, таких как болезни и вредители.

Почва обеспечивает среду для роста растений, выделяя и поглощая газы, такие как углекислый газ, метан и водяной пар.

Почва также является важным фильтром для водных ресурсов, способным задерживать и задерживать вредные вещества, предотвращая их попадание в водные системы.

Важнейшим свойством почвы является ее плодородие. Плодородие – способность почвы удовлетворять потребности растений в элементах питания, воде, обеспечивать их корневые системы достаточным количеством воздуха, тепла и благоприятной физико-химической средой для нормального роста и развития.

Уровень плодородия почвы зависит от ряда параметров, важнейшими из которых являются конкретные показатели почвенных режимов: температурный, водно-воздушный, питательный, физико-химический, биохимический, солевой и др.

Для большинства свойств и режимов выявлены количественные показатели, которые позволяют давать оценку почвенного плодородия в соответствии с требованиями сельскохозяйственных культур.

Все процессы, происходящие в почве, связаны между собой. Исключение или ослабление какого-либо составляющего ведёт за собой изменение всего состава почвы и потере ценных её качеств. Ухудшение земель снижает продуктивность растений. Почва в этом случае становится подвержена эрозийным процессам.

Питательные вещества из почвы поступают в корни растений через процесс их активного захвата и абсорбции.

Азот (N) необходим для роста и развития растений, образования белков и ферментов, участвует в процессе фотосинтеза. Фосфор (P) отвечает за образование нуклеиновых кислот, энергетических соединений и ферментов, улучшает укоренение растений. Калий (K) участвует в фотосинтезе, регулирует водный баланс, повышает устойчивость растений к заболеваниям и стрессу. Магний (Mg) необходим для образования хлорофилла, участвует в метаболических процессах, влияет на синтез РНК и ДНК. Кальций (Ca) участвует в росте и развитии клеток, укрепляет клеточные стенки, регулирует проницаемость мембран. Сера (S) нужна для синтеза аминокислот, белков и витаминов, регулирует фотосинтез и подавление роста насекомых-вредителей. Железо (Fe) участвует в процессах дыхания растений, транспортировке энергии, синтезе хлорофилла.

Наиболее важными для питания культур являются находящиеся в почвенном растворе ионы Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} и H_2PO_4^- . В процессе поглощения их корневой системой растений необходимо постоянное пополнение этих элементов путем внесения органических и минеральных удобрений.

Растения способны питаться не только ионами микро- и макроэлементов, которые находятся в почвенном растворе, но и теми ионами, которые связаны в коллоидах. С помощью корневых выделений (угольная кислота, органические и аминокислоты), обладающих растворяющей способностью, растения способны воздействовать на твердую фазу почвы, превращая необходимые им элементы из малодоступных соединений в легкоусваиваемую форму.

Немаловажный фактор, который следует учитывать при определении доступности того или иного вещества – это взаимодействие элементов питания между собой. Определенное количество и соотношение таких элементов как калий, фосфор и азот в питательной среде растения способствует не только его интенсивному росту, но и усвоению других важных микроэлементов. Достаточное количество азота в питании растения способствует лучшей усваиваемости кальция, калия, фосфора, железа, меди, магния, марганца и цинка. Но избыточные дозы азота провоцируют дефицит этих же элементов в растениях. Снижает поступление железа, марганца и магния переизбыток фосфора в питании растений. При недостатке калия наблюдается недостаточное потребление культурами азота, магния, кальция, и некоторых других элементов.

На уровень усваиваемости удобрений растениями большое влияние оказывают параметры окружающей среды: температура и влажность почвы, воздуха, освещенность, кислотно-щелочная реакция грунта, его механический и химический состав и пр. Замечено, что низкие температуры (+10...+11 °С) замедляют усваиваемость фосфора и тормозят поглощение основных элементов питания корневой системой растений. При +5...+6 °С прекращается поступление всех питательных веществ, в т. ч. и азота, в растения. Наиболее оптимальный температурный диапазон, при котором происходит максимальная усваиваемость микро- и макроэлементов у большинства растительных организмов, находится в пределах от +15 °С до +30 °С.

Освещение так же необходимо и для поглощения растениями элементов питания. Чем меньше света, тем ниже уровень усвоения полезных веществ. Поступление некоторых элементов, например калия, напрямую зависит от яркости освещения, поэтому культуры, растущие в тени, часто страдают от его недостатка. От освещенности зависит и оптимальная влажность воздуха для растений: чем больше освещенность, тем выше должна быть относительная влажность воздуха.

Достаточная влажность почвы положительно влияет на развитие корневой системы растений и улучшает ее поглотельную способность. Если в зонах с достаточным уровнем увлажнения усвоение растениями фосфора из минеральных удобрений составляет 10–20 %, а калия и азота –40–70 %, то в условиях засушливого климата этот показатель уменьшается в 1,5–2 раза.

Не меньшее влияние на доступность питательных элементов для растений оказывает и кислотно-щелочная среда почвы. Для каждого из элементов минерального питания есть определенное значение pH почвы, при котором он будет максимально доступен для растения. Так, некоторые виды фосфорсодержащих удобрений (фосфоритная мука) становятся доступными лишь после растворения в кислой среде. Как правило, более доступны и лучше усваиваются элементы в слабокислой или близкой к нейтральной почвенной среде ($6,2 < \text{pH} < 6,5$). Избыток водорастворимых солей в почвенном растворе очень вреден для растительных организмов, а высокие концентрации (0,3–0,5%) приводят к гибели растений.

Деятельность человека вызывает изменение почвенной реакции. Вынос из почвы с урожаем оснований (Ca и Mg) приводит к усилению кислотности почвы. Длительная механическая обработка почвы также может привести к ее обеднению основаниями. Кислая реакция почв

губительна для многих сельскохозяйственных растений и полезных микроорганизмов. Так как в этих почвах не хватает оснований, органические вещества в таких почвах не закрепляются, почвы обеднены питательными веществами. Сильнощелочная реакция почвы также губительна для большей части растений. При pH около 9–10 почвы имеют большую вязкость, липкость, водонепроницаемость.

Концентрацию ионов водорода в растворе принято выражать условной величиной pH (отрицательный логарифм концентрации H⁺ ионов). Различают две формы кислотности почв: актуальную (активную) и потенциальную (скрытую) кислотность. Последняя подразделяется, в свою очередь, на обменную и гидролитическую. Актуальная кислотность – это кислотность почвенного раствора, обусловленная повышенной концентрацией в нем ионов H⁺, а также слабых минеральных (H₂CO₃), органических кислот и гидролитически кислых солей (AlCl₃). При нейтральной реакции концентрация ионов водорода и гидроксидов одинакова – 10⁻⁷ мг/л, то есть pH раствора равен 7. Актуальная кислотность непосредственно влияет на развитие растений и микроорганизмов почвы

В зависимости от реакции почвенного раствора выделяют следующие группы почв: сильнокислые (pH < 4,5), кислые (pH – 4,5–5,0), слабокислые (pH – 5,1–6,0), нейтральные (pH – 6,1–7,0), слабощелочные (pH – 7,1–8,0), щелочные (pH – 8,1–9,0), сильнощелочные (pH – 9,1–11,0).

По отношению к кислотности почвы и отзывчивости на известкование сельскохозяйственные культуры подразделяют на пять групп.

К первой группе относятся наиболее чувствительные культуры, для которых оптимальной является слабощелочная среда: сахарная, кормовая и столовая свекла, капуста белокочанная, люцерна, эспарцет, горчица, рапс, лук, чеснок, сельдерей, шпинат, перец, пастернак, смородина и др. При возделывании этих культур на очень кислых почвах урожайность снижается в 2–3 раза и растения сильно поражаются болезнями. Поэтому почвы, предназначенные для их возделывания следует известковать в первую очередь.

Ко второй группе относятся пшеница, ячмень, горох, клевер, вика, фасоль, нут, чина, чечевица, цветная и кормовая капуста, кольраби, брюква, турнепс, салат, лук-порей, огурец, костер, лисохвост, для которых наиболее благоприятной является реакция почвы близкая к нейтральной, оптимальное значение pH_{KCl} – 6,0–6,5. Они хорошо отзы-

ваются на известкование. Повышение кислотности почвы до pH 4,5–4,8 снижает урожайность этих культур в 1,5–2 раза.

В третью группу входят озимая рожь, овес, гречиха, тимофеевка, томаты, подсолнечник, морковь, тыква, кабачки, петрушка, редька, репа, ревень, топинамбур и др. культуры, переносящие умеренную кислотность и щелочность почвы. Эти культуры не имеют явно выраженного оптимального значения реакции среды. На их продуктивность большое влияние оказывают сопутствующие факторы роста. При благоприятном пищевом режиме и экологических условиях они могут давать высокие урожаи в широком диапазоне pH_{KCl} от 5 до 7,5.

К четвертой группе относятся картофель, лён-долгунец, просо, сорго и др. Для этих культур оптимальное значение pH_{KCl} – 5,1–5,6. Они довольно хорошо переносят умеренную кислотность почвы, положительно отзывается на известкование при сохранении в почве оптимального соотношения между кальцием, калием, магнием, бором и другими элементами питания.

Для пятой группы культур (люпин желтый, козлятник, щавель, се-раделла и др.) оптимальные условия для роста и развития создаются при pH_{KCl} 4,5–5,0. Они малочувствительны к повышенной кислотности.

Тема 2. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ БЕЛАРУСИ (2 часа)

Лекция 3. Оценка почвенно-климатических ресурсов Республики Беларусь

3.1. Распределение почв пахотных угодий по гранулометрическому составу и генетическому типу. Агрономическая оценка почв Беларуси.

3.2. Особенности и характер климата.

3.3. Тепловые ресурсы климата. Ресурсы влаги в Республике Беларусь.

3.1. Распределение почв пахотных угодий по гранулометрическому составу и генетическому типу. Агрономическая оценка почв Беларуси

В номенклатурном списке почв Республики Беларусь насчитывается 13 основных типов почв, включающих более 450 разновидностей. В

структуре пахотных почв Республики Беларусь преобладают дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболоченные почвы, которые занимают 87,5 % (табл. 4).

Таблица 4. Распределение почв пахотных земель по типовой принадлежности в Республике Беларусь, %

Области	Почвы пахотных земель						
	дерново-карбонатные	дерново-подзолистые	дерново-подзолистые заболоченные	дерновые заболоченные	аллювиальные дерновые заболоченные	торфяные	антропогенно-преобразованные
Брестская	0,1	32,9	31,4	19,9	1,3	10,9	3,5
Витебская	–	33,8	62,3	0,8	0,3	1,6	1,2
Гомельская	–	42,3	38,5	6,8	1,3	8,1	3,0
Гродненская	0,2	65,5	30,8	2,7	0,3	0,3	0,21
Минская	–	51,6	34,0	4,3	0,3	7,6	2,2
Могилевская	0,1	55,2	42,6	0,9	0,1	0,6	0,5
Беларусь	0,1	47,0	40,5	5,4	0,5	4,8	1,7

Гранулометрический состав почвы различается по регионам Беларуси (рис. 1.), оказывая влияние на удержание и наличие влаги в почве, на ее структуру, аэрацию, биоразнообразие, регулирует запасы питательных веществ.

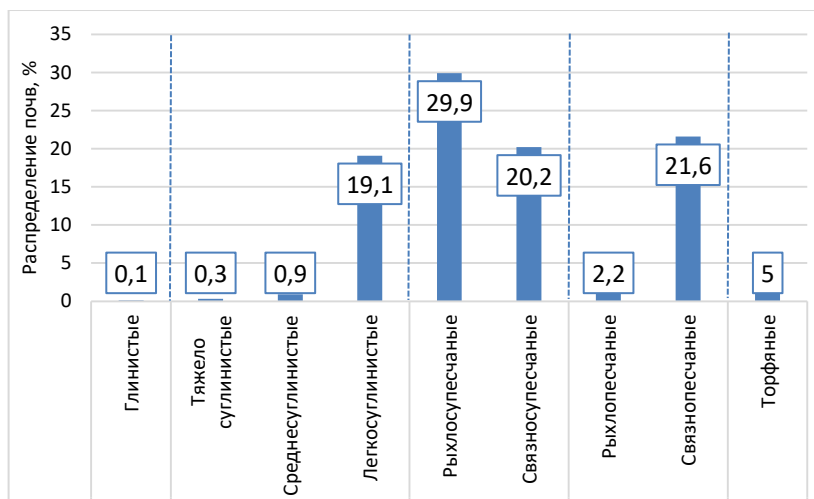


Рис. 1. Распределение почв (пашня) Беларуси по гранулометрическому составу, %

Наибольший практический интерес представляют показатели плодородия, систематически определяемые агрохимической службой на каждом поле один раз в четыре года: степень кислотности (pH_{KCl}), содержание гумуса, обменного магния, подвижных форм фосфора и калия.

Снижение кислотности почв является первостепенной предпосылкой эффективного применения минеральных удобрений. После шести циклов известкования количество сильно- и среднекислых почв на пашне уменьшилось с 66,8 % (1970 г.) до 5,6 % в настоящее время.

В связи с использованием для известкования пылевидной доломитовой муки, где содержание MgO достигает 20 %, наблюдается существенно повышение содержания в почве обменных форм магния. В настоящее время доля почв с низким содержанием обменного магния на пашне составляет 9,7 %, а на луговых угодьях – менее 7 %.

На пашне имеется незначительное количество (0,9 %) сильнокислых почв, где недобор урожая составляет 12–14 ц/га зерновых единиц. Почвы второй группы кислотности (pH_{KCl} 4,6–5,0), где недобор урожая оценивается в 4–8 ц/га, сравнительно равномерно распределены по областям Беларуси (3,2–6,2 %) (табл. 5).

Таблица 5. Степень кислотности (pH_{KCl}) пахотных почв Беларуси

Область	Доля площади по группам кислотности почвы pH , %							Средневзвешенное значение pH в KCl
	менее 4,5	4,6–5,0	5,1–5,5	5,6–6,0	6,1–6,5	6,6–7,0	более 7,0	
Брестская	1,3	6,2	20,1	35,6	25,6	7,2	4,0	5,79
Витебская	0,6	3,2	12,8	26,7	33,1	19,9	3,7	6,10
Гомельская	1,2	5,2	15,8	28,9	32,1	16,2	0,6	5,91
Гродненская	1,2	5,3	23,5	30,8	28,7	9,0	1,5	5,89
Минская	0,6	4,1	20,2	40,1	30,9	3,8	0,3	5,80
Могилевская	1,9	4,4	14,7	31,5	36,3	11,2	1,0	5,98
Республика Беларусь	0,9	4,7	18,1	32,8	31,1	10,7	1,8	5,90

Почвы третьей группы кислотности, где наблюдается небольшой недобор урожая (около 2 ц/га), занимают 18,1 % площади пашни. Почти две трети пахотных земель (63,9 %) характеризуются оптимальным диапазоном реакции среды (pH_{KCl} 5,6–6,5) для большинства сельскохозяйственных культур. На почвах шестой группы (pH_{KCl} 6,6–7,0) можно получать высокие урожаи сахарной свеклы, люцерны, кормо-

вых бобов, озимой пшеницы. Имеются в республике (0,7–4,2 %) переизвесткованные почвы (pH_{KCl} более 7,0), где заметно снижается урожай озимой ржи, овса и картофеля, а для посева льна-долгунца эти почвы непригодны в течение ряда лет, пока не произойдет подкисление среды. На улучшенных сенокосах и пастбищах известкование проводится только в период обновления дернины (перезалужения), однако распределение почв по группам кислотности практически такое же, как и на пахотных землях.

Оптимальные значения кислотности для основных с.-х. культур представлены в табл.6.

Таблица 6. Оптимальные значения реакции почвы для произрастания основных полевых культур

Культуры	Оптимум рН	Культуры	Оптимум рН
Пшеница: яровая озимая	6,0–7,5	Картофель	5,0–6,5
	6,3–7,6	Свекла: сахарная	7,0–7,5
Рожь озимая	5,5–7,5	кормовая	6,2–7,5
Тритикале: яровая озимая	5,5–7,0	Морковь	6,5–7,0
	5,5–7,0	Брюква	5,9–7,0
Овес	5,0–7,0	Турнепс	6,0–7,0
Ячмень	6,5–7,5	Арбуз	5,5–6,5
Кукуруза	6,0–7,0	Тыква	5,5–7,5
Просо	5,5–7,5	Лен	5,5–6,5
Сорго	5,0–6,5	Подсолнечник	6,0–7,5
Гречиха	4,7–7,5	Суданская трава	5,5–7,0
Горох	6,0–7,0	Вика: яровая	6,0–6,8
Бобы кормовые	6,0–7,5	озимая	5,5–7,5
Люпин: белый желтый	5,5–7,0	Клевер: луговой	6,0–7,5
	5,0–6,0	белый	5,5–7,0
узколиственный	5,0–6,5	Люцерна	7,0–8,0
Соя	6,0–7,0	Тимофеевка луговая	5,5–7,5
Фасоль	6,5–7,8	Лисохвост луговой	6,0–7,5
Сераделла	6,0–7,0	Овсяница луговая	5,0–7,0
Рапс: озимый яровой	6,0–7,5	Ежа сборная	6,0–7,0
	5,8–6,5	Костер безостый	6,0–8,0
Райграс многоукосный	6,0–7,0		

Последние двадцать пять лет на пахотных почвах поддерживался положительный баланс гумуса. Это достигали за счет большого выхода навоза на торфяной подстилке и расширения доли многолетних трав до 24 % от общей площади посевов. В результате средневзвешенное

содержание гумуса в почвах пахотных земель Беларуси было повышено с 1,77 % в 1970 году до 2,23 % в настоящее время (табл. 7).

Таблица 7. Содержание гумуса в почвах пахотных земель Беларуси

Область	Доля площади по группам содержания гумуса в почве, %						Средневзвешенное содержание гумуса, %
	менее 1,00	1,00–1,50	1,51–2,00	2,01–2,50	2,51–3,00	более 3,00	
Брестская	0,2	5,4	24,4	25,5	13,7	31,2	2,44
Витебская	0,1	2,3	20,1	30,4	22,6	24,5	2,48
Гомельская	0,3	7,7	30,4	28,0	14,2	19,8	2,27
Гродненская	1,7	23,1	39,6	22,8	8,2	4,6	1,90
Минская	0,0	4,8	24,6	33,5	23,7	13,4	2,35
Могилевская	0,6	16,4	46,3	24,9	8,3	3,5	1,93
Республика Беларусь	0,5	10,1	30,6	27,7	15,5	15,6	2,23

Значимость органических удобрений остается высокой, поскольку они являются незаменимым и повсеместно доступным источником пополнения запасов гумуса и элементов питания в почве.

В связи с уменьшением поголовья скота и сокращением использования торфа внесение органических удобрений уменьшилось в среднем до 6,3 т/га в год. Это ставит под угрозу поддержание не только положительного, но и бездефицитного баланса гумуса в почвах пашни. Согласно результатам двенадцатого тура агрохимического обследования в каждой второй сельскохозяйственной организации отмечено снижение запаса гумуса в пахотных почвах. В этих условиях необходимо расширять площадь посевов многолетних бобовых трав и бобово-злаковых травосмесей, сокращать долю пропашных культур в структуре посевов и использовать промежуточные культуры в качестве зеленых удобрений. Более высоким содержанием гумуса (2,75 %) отличаются почвы улучшенных сенокосов и пастбищ.

Содержание подвижного фосфора является одним из основных признаков окультуренности дерново-подзолистых почв, тесно связанных с величиной урожая. Увеличение содержания фосфора до 250 мг/кг на супесчаных и 300 мг/кг на суглинистых почвах сопровождается достоверным приростом продуктивности севооборота. Содержание подвижных соединений фосфора на пашне (184 мг/кг почвы) невысокое, за исключением почв Гомельской области (223 мг/кг почвы). Рас-

пределение почв пахотных земель Беларуси по группам содержания подвижного фосфора приведено в табл.8.

Таблица 8. Содержание подвижного фосфора в почвах пахотных земель Беларуси

Область	Доля площади по группам обеспеченности P_2O_5 , %						Средневзвешенное содержание P_2O_5 , мг/кг почвы
	менее 60	61–100	101–150	151–250	251–400	более 400	
Брестская	10,9	19,0	23,8	28,9	15,4	2,0	158
Витебская	10,4	18,8	22,8	28,2	14,4	5,4	170
Гомельская	6,9	8,8	13,1	29,9	34,8	6,5	223
Гродненская	7,6	15,0	21,6	37,2	14,4	4,2	180
Минская	7,3	15,8	23,2	35,3	17,4	1,0	176
Могилевская	5,7	11,3	18,3	34,5	27,0	3,2	198
Республика Беларусь	8,1	14,9	20,6	32,7	20,2	3,5	184

В последние годы формирование урожая травяных кормов на улучшенных лугах шло преимущественно за счет запаса питательных веществ в почве. Ежегодное отчуждение элементов минерального питания с пастбищным кормом и сеном в среднем превышало поступление их с удобрениями на каждом гектаре по азоту на 14 кг, фосфору – 12, калию – 19 кг. Средневзвешенное содержание фосфора в луговых почвах повсеместно низкое.

Увеличение продуктивности севооборотов также сопряжено с повышением содержания подвижного калия (до уровня 250 мг K_2O на кг супесчаных и 300 мг/кг суглинистых почв). Прибавка урожая озимой ржи, ячменя и озимой пшеницы на 1 кг K_2O составляют, соответственно, 4,2, 4,6 и 6,3 кг. Вследствие меньшей стоимости калийных удобрений затраты на их применение в интенсивном земледелии хорошо окупались. Однако внесение калийных удобрений на пашне было недостаточным, и сейчас чаще наблюдается небольшое снижение содержания подвижного калия в почве. Наиболее высокое содержание подвижного калия в почвах пахотных земель характерно для Минской области, где средневзвешенное содержание K_2O достигло уровня 222 мг/кг почвы (табл. 9).

Таблица 9. Содержание подвижного калия в почвах пахотных земель Беларуси

Область	Доля площади по группам обеспеченности K_2O , %						Средневзвешенное содержание K_2O , мг/кг почвы
	менее 80	81–140	141–200	201–300	301–400	более 400	
Брестская	7,3	26,4	32,8	26,3	5,5	1,7	179
Витебская	10,0	30,8	29,9	22,2	4,8	2,3	172
Гомельская	8,5	22,4	22,8	27,1	12,4	6,8	209
Гродненская	6,3	24,6	34,8	27,7	5,5	1,1	182
Минская	2,9	20,6	27,3	29,4	15,1	4,7	222
Могилевская	8,0	20,0	26,1	30,0	11,5	4,4	203
Республика Беларусь	6,8	24,0	29,0	27,1	9,5	3,6	175

Положительный баланс калия в пахотных почвах наблюдался последние четыре года и в большинстве хозяйств Гомельской и Гродненской областей. Самое низкое содержание калия – в почвах пахотных земель Витебской области, где на 10 % пашни его содержится менее 80 мг K_2O на кг почвы. В целом по Беларуси 6,8 % почв характеризуется очень низким содержанием калия и 24 % – низким.

В почвах луговых угодий содержание калия повсеместно весьма низкое, особенно в Гродненской области. Большие природные запасы сильвинита и хорошо налаженное производство калийных удобрений в Беларуси позволяют в ближайшей перспективе оптимизировать содержание подвижного калия в почвах сельскохозяйственных земель.

Воздействие почвы на урожай определяется запасами в ней элементов питания и влаги, реакцией почвенной среды и содержанием органического вещества, состоянием физических и биологических свойств (рис. 2).

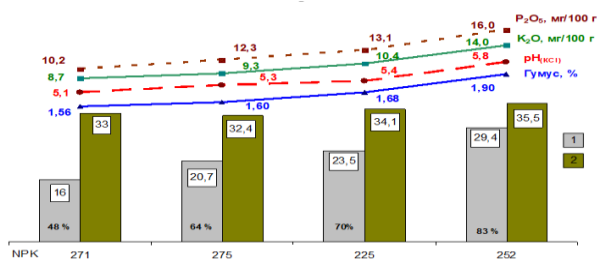


Рис. 2 Урожайность зерновых при разных агрохимических показателях:

1 – на контроле (без внесения удобрений), ц/га, %; 2 – при внесении удобрений, ц/га, %

Известно, что фоновое содержание ряда микроэлементов в почвах Беларуси не соответствует потребности для нормального роста и развития растений, здоровья человека и животных. Начиная с 1986 года, в стране начато крупномасштабное обследование почв сельскохозяйственных земель на содержание микроэлементов. Анализ результатов трех последних туров обследования показал заметное увеличение запасов подвижных форм бора, меди и цинка в почвах Беларуси. По данным отдела мониторинга плодородия почв РУП «Институт почвоведения и агрохимии» и крупномасштабного агрохимического обследования почв (11–12 туры), средневзвешенный показатель кислотности (pH_{KCl}) в почвах сельскохозяйственных земель составляет 5,90, средневзвешенное содержание гумуса – 2,23 %, подвижного калия и фосфора – 196 и 184 мг/кг соответственно.

В табл. 10 представлена возможная урожайность культур в зависимости от содержания в почве гумуса и питательных веществ

Таблица 10. Возможная урожайность сельскохозяйственных культур за счет плодородия почвы, ц/га основной продукции

Культуры	На 1 % гумуса	На 100 мг в кг почвы	
		P_2O_5	K_2O
Зерновые в целом – зерно	7,0	1,4	1,4
Озимая рожь – зерно	7,0	1,2	1,3
Озимая пшеница – зерно	7,0	1,5	1,5
Яровой ячмень – зерно	6,8	1,2	1,3
Овес – зерно	8,0	1,2	1,1
Яровая пшеница – зерно	6,6	1,4	1,2
Гречиха – зерно	5,3	0,8	0,6
Горох – зерно	11,0	1,0	1,0
Люпин – зерно	8,0	0,8	0,7
Картофель – клубни	37,0	9,0	4,0
Сахарная свекла – корнеплоды	50,0	8,0	6,0
Кормовая свекла – корнеплоды	57,0	13,0	6,0
Лен-долгунец – волокно	3,4	0,6	0,4
Кукуруза – зеленая масса	60,0	12,0	10,0
Многолетие бобово-злаковые травы – сено	20,0	2,7	1,1
Сенокосы в среднем – сено	12,0	4,0	1,4
Пастбища в среднем – зеленая масса	40,0	21,0	5,0

3.2. Особенности и характер климата

Для Республики Беларусь характерен умеренно континентальный климат, формирующийся под влиянием воздушных масс Атлантики.

Климат характеризуется дождливым не жарким летом, мягкой зимой с частыми оттепелями, неустойчивой погодой осенью и зимой. Средняя температура воздуха изменяется в зависимости от регионов Беларуси. В июле средняя температура составляет от +17 °С на севере, до +18,5 °С на юге. Средняя температура в январе колеблется от -4,5 °С на юго-западе, до -8 °С – на северо-востоке. В некоторых регионах Беларуси температура ниже нуля сохраняется более трети года.

На территории Беларуси в среднем за год выпадает 600–700 мм осадков. 70% осадков в виде дождя выпадает в апреле – октябре. Количество снежных дней в Беларуси от 75– на юго-западе до 125 – на северо-востоке. Максимальная высота снежного покрова соответственно от 15 до 30 см.

По термическим ресурсам периода активной вегетации (суммы температур воздуха выше +10 °С), территория Беларуси разделена на 4 агроклиматические области: северную, центральную и южную и новую (рис. 3).



Рис. 3. Изменение границ агроклиматических областей Беларуси:
1 – границы агроклиматических областей по А.Х. Шкляру (1973 г);
2 – границы агроклиматических областей за период потепления 1989–2015г.г.

Северная агроклиматическая область представлена двумя небольшими территориями, расположенными на крайнем севере Витебской области и на крайнем юго-западе Витебской и северо-западе Минской областей. По характеру увлажнения территория Северной агроклиматической области относится к достаточному и избыточному увлажне-

нию. В условиях невысоких температур и избыточного увлажнения, формируются хорошо увлажненные и переувлажненные почвы.

Все сорта ранних яровых культур обеспечены теплом и влагой. В весенний период часто отмечается переувлажнение почв. Вследствие этого, отмечается более низкая урожайность, чем в среднем по республике. Наиболее продуктивно возделывание культур на супесчаных и легких суглинистых почвах. Успешно возделываются различные по срокам спелости сорта картофеля. Агроклиматические ресурсы территории благоприятны для получения высоких урожаев льна-долгунца, выращивания кормовых культур, в первую очередь многолетних и однолетних трав. Возделывание кукурузы целесообразно только на силос. В целом в Северной агроклиматической области можно успешно развивать производство основных сельскохозяйственных культур.

Центральная агроклиматическая область характеризуется умеренной с частыми оттепелями зимой, теплым вегетационным периодом, умеренным увлажнением. Центральная агроклиматическая область более теплая и менее влажная, чем Северная агроклиматическая область. Агроклиматические условия благоприятные для возделывания большинства культур и позволяют на ее территории выращивать сельскохозяйственные культуры: озимые и яровые зерновые, озимый и яровой рапс, гречиху, картофель, сахарную свеклу, лен, кукурузу, однолетние и многолетние травы.

Условия для перезимовки озимых культур благоприятные. Озимые зерновые и травы редко страдают от вымерзания. Больше всего от вымерзания повреждается озимый рапс, как правило, из за чередования оттепельного характера погоды и последующего понижения температуры воздуха до $-10...-15^{\circ}\text{C}$.

В последние десятилетия, в связи с изменением климата, в период уборки отмечается тенденция увеличения числа сухих дней, максимальной температуры воздуха и уменьшения количества осадков, что улучшает условия уборки зерновых культур. На территории Центральной агроклиматической области возможно получение вторых урожаев ряда кормовых культур в пожнивных посевах после ранубираемых на зерно зерновых культур и озимого рапса. Почвенно-климатические ресурсы области благоприятны для возделывания льна-долгунца. Благоприятны условия и для выращивания картофеля, урожай этой культуры выше, чем в Северной агроклиматической области. Ежегодно можно получать высокий урожай зеленой массы от всех сортов кукурузы. В последние годы отмечается увеличение сумм эффективных

температур, это позволяет на юго-западе Центральной агроклиматической области получать от раннеспелых гибридов кукурузы зрелое зерно.

Климат на юге, юго-западе и востоке Центральной агроклиматической зоны в основном благоприятен для получения высоких урожаев и качества сахарной свеклы. Непременным условием получения максимальной продуктивности сахарной свеклы является увеличение продолжительности ее вегетационного периода, что достигается своевременным проведением сева. Уборку следует завершить до периода вероятного наступления устойчивой минимальной температуры воздуха ниже -5°C и промерзания почвы.

Южная агроклиматическая область характеризуется мягкой короткой зимой, наиболее длительным и теплым вегетационным периодом, неустойчивым увлажнением. Наилучшие агроклиматические условия для выращивания теплолюбивых культур. Южная агроклиматическая область более теплая и менее влажная, чем Центральная агроклиматическая область.

Агроклиматические условия южной области позволяют на ее территории выращивать сельскохозяйственные культуры: озимые и яровые зерновые, озимый и яровой рапс, гречиху, картофель, лен, сахарную свеклу, кукурузу, однолетние и многолетние травы. Условия для перезимовки озимых культур и многолетних трав в целом благоприятные. На территории южной агроклиматической области возможно получение вторых урожаев ряда кормовых культур в пожнивных посевах после рано убираемых на зерно зерновых культур и озимого рапса. После уборки этих культур до наступления осенних холодов остается 70–80 дней с суммой активных температур ($+5^{\circ}\text{C}$) более 900°C . В качестве пожнивных в условиях центральной агроклиматической области можно возделывать крестоцветные культуры (редька масличная, озимый и яровой рапс, озимая и яровая сурепица, горчица белая). Благоприятны условия и для выращивания картофеля, кроме среднепоздних и поздних. Ежегодно можно получать высокий урожай зеленой массы всех сортов кукурузы и зерна скороспелых сортов. Климат на севере, северо-востоке и северо-западе южной агроклиматической зоны благоприятен для получения высоких урожаев сахарной свеклы.

В последнее время в ряде южных районов, особенно на легких почвах, влагообеспеченность основных сельскохозяйственных культур явно недостаточна из-за увеличения повторяемости засух и засушливых явлений.

Новая агроклиматическая область характеризуется самой короткой и теплой в пределах Беларуси зимой и наиболее продолжительным и теплым вегетационным периодом, неустойчивым увлажнением. Новая агроклиматическая область за период потепления расширила свои границы и теперь занимает южную часть Полесской провинции. В административном отношении это южные районы Брестской и Гомельской областей. Число дней с температурой воздуха равной и выше $+25^{\circ}\text{C}$ в среднем по области составляет 56 дней. Это на 8 дней выше, чем в Южной агроклиматической зоне, на 19 дней выше Центральной области и на 25 дней – в Северной агроклиматической зоне.

Следует отметить, что отличительной особенностью Новой зоны являются частые продолжительные засухи и другие засушливые явления, которые приводят к истощению запасов почвенной влаги и нарушению водного баланса растений, особенно на легких песчаных и супесчаных почвах.

Агроклиматические условия этой области по теплообеспеченности в целом благоприятны как для возделывания основных сельскохозяйственных культур, так и некоторых южных теплолюбивых культур, которые ранее являлись нетипичными для этой зоны выращивания. К таким относятся кукуруза, соя, подсолнечник, просо, сорговые культуры и др. В сложившихся агроклиматических условиях урожай картофеля в этом регионе зачастую бывает пониженным. Высокая температура в период клубнеобразования (выше $+23^{\circ}\text{C}$), который наступает в третьей декаде июля, вызывает резкое замедление роста клубней. Достаточное количество сумм эффективных температур позволяет повсеместно получать качественное зрелое зерно кукурузы. В неблагоприятные для зерновых годы, когда они в ранние фазы подвержены засухе, урожайность кукурузы получается высокой. Ареал ее культивации постоянно увеличивается. Для получения высоких урожаев зерна сои решающими являются метеорологические условия июля-августа, а именно средняя суточная температура воздуха и относительная влажность воздуха 70–75 % (минимум 60 %). Метеорологические условия последних лет характеризуются как особенно экстремальные (лето жаркое и сухое). Это ускоряет прохождение фаз роста и развития растений, что, в целом, негативно сказывается на получении урожая сои, поскольку лимитирующим для нее является влагообеспеченность. Агроклиматические ресурсы Новой зоны хорошо подходят для выращивания подсолнечника. Он обладает мощной, хорошо развитой корневой системой, поэтому относительно устойчив к засухе, но

при этом сильно истощает почву и требует высокого уровня агротехники. В Новой агроклиматической области, после уборки озимых культур до наступления осенних холодов остается 90–100 дней с суммой активных температур (выше +5 °С) 950–1200 °С, что достаточно для получения кормов от пожнивных культур. Сорго, культура, более засухоустойчивая, чем травы, зерновые и кукуруза, менее требовательна к плодородию почвы, требует меньшего количества удобрений, чем кукуруза. Используется для получения зеленого корма, силоса, зерна. Возможно двуукосное использование сорго.

Последствия изменения климата в Беларуси, начиная с 1989 года оказывают существенное влияние на сектор сельского хозяйства. Изменение климата вызывает как отрицательные, так и положительные последствия с точки зрения результатов сельскохозяйственного производства (табл. 11.)

Таблица 11. Положительные и отрицательные последствия изменения климата для растениеводства

Положительные последствия	Отрицательные последствия
Более раннее начало весенних процессов и увеличение продолжительности вегетационного периода	Повышение вероятности экстремальных и неблагоприятных гидрометеорологических условий
Увеличение теплообеспеченности сельскохозяйственных культур	Рост максимальных температур воздуха, волн тепла
Уменьшение повторяемости зим с опасной для озимых культур минимальной температурой почвы на глубине узла кушения	Увеличение интенсивности и частоты засух, особенно в южных регионах страны, вызывающих снижение урожайности и деградацию почвы
Улучшение условий уборки зерновых культур, улучшение условий уборки свеклы, поздних сортов картофеля вследствие более позднего начала осенних заморозков	Увеличение повторяемости и продолжительности интенсивности волн тепла, возможность заморозков в период цветения
Увеличение продолжительности пожнивного периода	Появление новых вредителей и болезней сельскохозяйственных культур
Более раннее окончание весенних заморозков (за исключением Гомельской области) и увеличение продолжительности беззаморозкового периода	Увеличение интенсивности осадков, приводящее к эрозии почв или повреждению растений
	Недостаточная влагообеспеченность в вегетационный период, увеличение спроса на воду, ухудшение условий формирования урожая средних и поздних сортов картофеля, льна, капусты, второго укоса трав из-за сухой и жаркой второй половины лета.

3.3. Тепловые ресурсы климата. Ресурсы влаги в Республике Беларусь

Среднегодовые температурами воздуха в Беларуси постепенно повышаются с северо-востока на юго-запад от +5,5 до +8 °С. Самый холодный месяц – январь. В январе средняя температура воздуха понижается с юго-запада на северо-восток от -4,5 до -8 °С. Нередко зимой температуры понижаются до -20 С... -30 °С.

Летом распределение температур зависит от притока солнечной радиации. Поэтому температуры самого тёплого месяца (июля) повышаются с севера на юг. Разница температур значительно меньше, чем зимой. В северных районах температура воздуха в июле около +17,5 °С, в южных — около +18,5 °С. Абсолютные максимальные температуры воздуха составляют +35 – +38 °С.

Безморозный период на юге Беларуси начинается с 20.04–30.04 и заканчивается – 23.09–15.10, в северной части – с 3.05–13.05 и до 19.09–03.10 соответственно. Длится – в зависимости от региона от 124 до 177 дней.

За последние годы в республике значительно увеличились посевные площади кукурузы под зерно. В хозяйствах Брестской и Гомельской области за последние годы внедряется в производство озимый ячмень, уборку его начинают на 2–3 недели раньше других культур. Это тоже благодаря увеличению сумм температур в июне-июле. Возросли посевные площади рапса на семена. В южных областях ежегодно проводится посев сои (до 5 тыс. га), расширились посевы подсолнечника, овощного горошка, сахарной кукурузы, спаржевой фасоли. Освоено выращивание ранних теплолюбивых сортов картофеля. Продолжаются работы по созданию промышленных плантаций винограда; ведутся работы по расширению площадей бахчевых культур.

Рост теплообеспеченности в определенных пределах способствует расширению и улучшению структуры растениеводства, но при значительном росте среднегодовой температуры сельское хозяйство в южных и восточных районах Республики Беларусь уже сталкивается с проблемой недостаточной влагообеспеченности сельскохозяйственных культур, пересыханием пахотного слоя и другими проявлениями засух. Засухи имеют атмосферно-почвенную природу, при проявлении которых почвы наиболее подвержены климатообусловленным рискам, минимизация которых должна рассматриваться как важнейшая цель адаптации аграрного сектора к изменяющемуся климату.

Вероятно, что в результате потепления к 2030 и 2050 годам сформируются границы новых агроклиматических областей. (рис. 4).

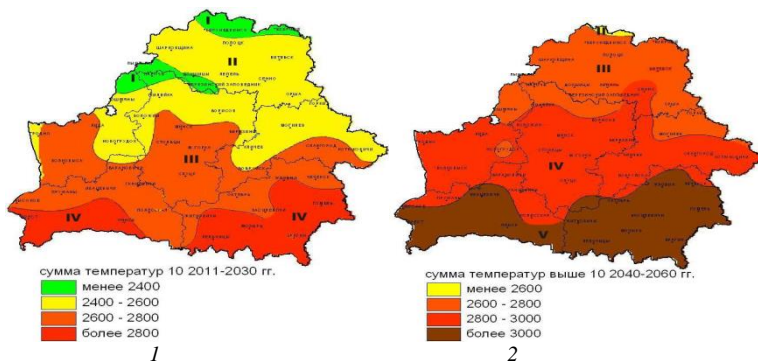


Рис. 4 Новые границы агроклиматических зон (областей) по теплообеспеченности: 1 – за период 2011–2030 гг.; 2 – за период 2041–2060 гг.

Примечание: бывшие агроклиматические зоны в 2015 году: I – Центральная, II – Южная, III – Новая, IV, V – агроклиматические зоны, которых не было в 2015 году.

Так, бывшая Центральная область в 2015 году к 2030 году фактически распадется, а ее место займет бывшая Южная область. При этом практически на всей территории Беларуси возможно будет возделывание кукурузы на зерно, подсолнечника. Новая агроклиматическая область продвинется далеко на север и займет место Южной, а на юге страны появятся еще более теплые агроклиматические области с суммами температур более 2800 °С. В результате потепления будет происходить дальнейшее смещение границ агроклиматических зон. Влагообеспеченность в период активной вегетации будет ухудшаться в результате существенного роста температур и увеличения транспирации растений.

Прогнозы агрометеорологов, сделанные на период 2010–2039 гг., показывают увеличение среднегодовой температуры воздуха на 1°С.

Прогнозные оценки агроклиматических показателей следующие: начало периодов с температурой выше 10°С можно ожидать весной на 3–7 дней раньше, а осенью – на 2–6 дней позже, что обеспечит увеличение продолжительности периода почти на две недели в период 2010–2039 гг.

По условиям увлажнения районами со стабильными возможностями для возделывания сельскохозяйственных культур считаются такие,

где выпадает не менее 400–500 мм в год, из которых не менее 300–350 – за вегетационный период, а регионы, в которых вы падает меньшее количество осадков, относят к зонам рискованного земледелия.

В Беларуси за год выпадает в среднем 600–700 мм в зависимости от региона. Количество выпадающих осадков в период активной вегетации и гидротермический показатель (ГТК) дают возможность оценить условия влагообеспеченности той или иной культуры.

ГТК представляет отношение суммы осадков за определенный период к сумме температур выше 10°C за тот же период, уменьшенной в 10 раз. Гидротермический коэффициент характеризует влагообеспеченность района и определяется по формуле:

$$\text{ГТК} = \frac{r}{0,1 \cdot \Sigma t},$$

где, r – сумма осадков за период со среднесуточными температурами воздуха выше +10 °С, мм

Σt – сумма температур за этот же период, °С

По гидротермическому коэффициенту характеризуют следующие условия увлажнения территории: больше 1,6 – влажные, от 1,6 до 1,3 – оптимальные, от 1,3 до 1,0 – слабозасушливые, от 1,0 до 0,7 – засушливые, от 0,7 до 0,4 – очень засушливые, от 0,4 до 0,2 – сухие, от 0,2 и меньше – очень сухие.

Условия увлажнения Беларуси и ресурсы тепла позволяют выращивать большой ассортимент культур: из них как традиционные для условий Беларуси – пшеницу, рожь, ячмень, овес, тритикале, просо, гречиху, кукурузу, горох, виды люпинов, лен, подсолнечник, рапс, ряд ценных многолетних – клевер, донник, люцерну, эспарцет, кострец, – и однолетних - вику, горох полевой, суданскую траву, могар, чумизу, – кормовых трав; так и малораспространенные – чина, чечевица, нут, соя, сафлор, кунжут, клещевина и др.

Несмотря на то, что территория Республики Беларусь расположена в зоне достаточного увлажнения, проблема засух и засушливых явлений, ведущих к снижению урожайности основных сельскохозяйственных культур, а в ряде случаев к деградации земель и негативному изменению ландшафтов, является своевременной и весьма актуальной. За последние десятилетия вероятность возникновения засух и их продолжительность увеличились как за счет глобального изменения (потепления) климата, так и за счет антропогенного воздействия на природную среду (мелиорация земель, нарушение естественного растительного покрова, водоотведение, урбанизация и др.). На фоне более

частых и длительных по времени засушливых явлений заметным фактором деградации торфяных почв и лесных земель становятся торфяные и лесные пожары. В будущем, при непринятии своевременных мер, есть угроза быстрого роста экологического и экономического ущерба в результате засух и засушливых явлений, что может отразиться на устойчивом развитии республики. Для оценки засух и засушливых явлений в республике используются различные количественные критерии, учитывающие такие параметры как максимальная температура воздуха, количество осадков, влажность воздуха, почвы, гидро-термический коэффициент Селянинова (ГТК), бездождные периоды (периоды, когда в течение не менее 10 дней подряд суточные суммы осадков не превышали 1 мм), продуктивные влагозапасы пахотного слоя 10 мм и менее), число дней с относительной влажностью воздуха $\leq 30\%$.

Повторяемость засух увеличивается с северо-запада на юго-восток. В Гомельской области, например, повторяемость засух с площадью охвата не менее 30% области составляет 50%, т.е. примерно 1 раз в 2 года, в Брестской – 1 раз в 2–3 года.

Тема 3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ И МЕТОДИКА ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ (10 часов)

Лекция 4. Программирование урожайности озимых зерновых культур

- 4.1. Методика расчета урожайности сельскохозяйственных культур.
- 4.2. Особенности методики расчета урожаев озимых культур.
- 4.3. Расчеты доз удобрений под программируемый урожай.
- 4.4. Математические модели урожая зерновых культур по элементам структуры.

4.1. Методика расчета урожайности сельскохозяйственных культур

Применение метода программирования урожаев при возделывании сельскохозяйственных культур предусматривает четкую логику последовательности выполнения организационных процессов, технологических приемов и операций. Последовательность и содержание работ,

составляющих сущность метода программирования, можно представить следующим образом.

1. Сбор и накопление информации об объекте программирования (культура, сорт), а также о количественных параметрах условий выращивания (факторах жизни).

2. Анализ достигнутой в предприятии урожайности возделываемой культуры и определение (прогнозирование) уровней возможной урожайности в перспективе.

3. Разработка модели прогнозируемого урожая по элементам структуры и фитометрическим показателям.

4. Разработка технологии возделывания культуры (агротехническая модель), реализация которой должна обеспечить получение урожая, величина которого рассчитана при его прогнозировании.

5. Воплощение на практике разработанной технологии.

6. Разработка программы и осуществление контроля за формированием урожая возделываемой культуры (агрономический и биологический контроль) и контроля за реализацией и выполнением технологической карты. В случае необходимости – внесение соответствующих корректив в принятую технологию.

7. Уборка и учет урожая. Определение фактических элементов его структуры. Анализ полученных при учете урожая данных. Оценка степени соответствия фактических показателей прогнозным. Формулирование выводов на перспективу.

В реальных условиях сельскохозяйственного производства источниками информации служат: годовые отчеты сельхозпредприятия; перспективные планы его развития; материалы статистической отчетности; текущие и среднесрочные данные агрометеорологических станций; Государственные реестры сортов, издаваемые ГУ «Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений»; организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных, кормовых и технических культур, опубликованные в виде сборников отраслевых регламентов Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь; различные справочники.

Необходимо собрать данные об агрометеорологических условиях региона и обеспеченности возделываемых культур климатическими факторами. Основными факторами жизни растений, определяемыми особенностями климата региона, являются солнечная радиация, термический фактор, влагообеспеченность. Источником информации о

количественных характеристиках названных факторов служат прежде всего агроклиматические справочники, а также текущие данные ближайших агрометеостанций.

Собранные данные дают основание для агрономической оценки климатических ресурсов региона в целом. Эта оценка включает определение продолжительности вегетационного периода, степени обеспеченности полевых культур в границах его продолжительности солнечной радиацией, теплом, влагой.

На следующем этапе изучаются биологические особенности возделываемой культуры и анализируется степень соответствия их почвенно-климатическим условиям. На основании данных учебной и научной литературы описываются биологические особенности возделываемой культуры. Внимание акцентируется на особенностях ее роста и развития, реакции на факторы жизни (почва, элементы почвенного питания, солнечная радиация, тепло, влага), потребности в них.

Далее делается вывод о степени соответствия почвенно-климатических условий региона, количественных характеристик и параметров факторов жизни растений их биологическим требованиям. Завершая биологическую характеристику культуры анализируем продолжительность межфазных периодов и общую продолжительность вегетационного периода рассматриваемого вида и сорта растений.

Затем оцениваем фактическую, определяем и прогнозируем возможную урожайность статистическими методами.

Фактически достигнутый уровень урожайности оценивается путем сравнения с урожайностью предыдущего года, средней урожайностью ряда лет, с уровнем урожайности в предприятиях, которые расположены в сходных условиях или при возделывании той или иной культуры с применением различных технологий и др.

Осуществляя агрономический анализ достигнутого уровня урожайности, важно установить зависимость между ней и качественными характеристиками почв. Важным элементом агрономического анализа является установление зависимостей между урожайностью и применяемыми технологическими приемами, качеством и своевременностью их выполнения. Глубоко научную оценку достигнутому уровню урожайности дает анализ по элементам структуры урожая, по уровню использования солнечной радиации.

В методе программирования урожаев применяют ряд специальных методик, позволяющих, прогнозируя уровень возможных урожаев, оценить не только сам факт роста (снижения) урожайности, но и дать

количественную биологическую оценку вклада в урожай каждого из основных факторов жизни растений. Методы расчетов, с помощью которых прогнозируются уровни возможных урожаев по степени обеспеченности тем или иным фактором, одновременно могут быть использованы и для оценки и анализа фактической урожайности.

Путем сравнения фактического уровня урожайности с возможным уровнем, установленным с помощью различных расчетных методов, определяется ресурс ее роста, а также целесообразность дополнительных затрат, без которых повышение и рост урожайности мало вероятны.

Одним из этапов осуществления метода программирования урожая является этап, задача которого – прогнозирование урожайности. А это значит определение и установление того уровня урожайности, для достижения которого будет разрабатываться и реализовываться технология возделывания рассматриваемой культуры.

Следующий этап – анализируем достигнутую и прогнозируем возможную урожайность по степени обеспеченности растений естественными факторами жизни. Рассчитываются уровни урожайности, при этом подразумевается, что растения оцениваемой культуры (сорта) обеспечены всеми факторами жизни в оптимальных количествах и соотношениях:

- потенциальная урожайность (ПУ), в основе которой лежит определение соотношения между количеством энергии приходящей фотосинтетически активной радиации и количеством энергии, аккумулированной в биомассе урожая;

- климатически обеспеченная урожайность (КОУ). Важнейшими климатообразующими факторами являются тепло и влага, т. е. тепловой и водный режимы региона. Температурный фактор (за исключением аномальных случаев) не является у нас фактором, сколько-нибудь ограничивающим урожайность традиционно возделываемых культур. Поэтому прогнозирование климатически обеспеченной урожайности по ресурсам тепла в наших условиях, по сути, лишено смысла. Поэтому КОУ целесообразно рассчитывать по ресурсам влаги (КОУ_в). Методика определения КОУ_в базируется на установлении соотношения количества влаги, поступающей в распоряжение растений в течение вегетационного периода, и расходования ее на создание единицы урожая;

- климатически обеспеченная урожайность по биогидротермическому потенциалу. Воздействие на растения факторов жизни проявляется совокупно. Поэтому естественно, что между приходом солнечной

радиации, ресурсами тепла, количеством продуктивной влаги, поступающих в распоряжение растений и их количеством энергии, расходуемой на фотосинтез, транспирацию и испарение влаги с поверхности поля, существует тесная взаимосвязь. Эту взаимосвязь и методику расчета климатически обеспеченной урожайности на основании использования биогидротермического показателя продуктивности. Эта методика прогнозирования урожайности базируется на оценке не одного фактора жизни растений, а нескольких;

– действительно возможная урожайность (ДВУ) – определяет реальное почвенное плодородие конкретного поля. Определение ДВУ по показателям почвенного плодородия основывается на использовании данных о содержании питательных веществ в почве и возможной урожайности на единицу питательных веществ, содержащихся в почве;

– программируемая урожайность (ПрУ). ПрУ рассчитывается как ДВУ с приростом урожайности, которая должна быть получена за счет удобрений, а также совершенствования технологии возделывания рассматриваемой культуры.

На основании полученных уровней урожайности определяется лимитирующий фактор и обосновывается выбор величины программируемого урожая.

После того, когда окончательно установлена и принята величина программируемой урожайности, ее выражают через элементы структуры. Обосновывают их величину, рассчитывают оптимальную величину фотосинтетического потенциала, площади листьев.

Затем разрабатывается структурная модель высокопродуктивного растения и модель посева для получения программируемого урожая.

Формирование элементов структуры урожая носит динамичный характер, т. е. каждый из них закладывается и развивается на разных этапах роста и развития растения. На разных этапах формирования урожая требуются различный уровень и количество факторов жизни, которые определяются биологическими особенностями культуры, климатом и погодными условиями. Формированием урожая можно управлять посредством применения различных агроприемов, проводимых в разные фазы жизни растений. Установив оптимальный уровень урожайности и определив его составляющие, необходимо при разработке технологии культуры проектировать такие агроприемы, которые в наибольшей степени будут способствовать фактическому проявлению элементов урожайности.

Выбор показателя (величины) каждого из элементов структуры прогнозируемого урожая определяют почвенно-климатические условия региона, особенности сорта, но прежде всего особенности элементов агротехники разрабатываемой технологии (норма высева, способ посева, сроки сева, глубина заделки семян, планируемые дозы удобрений и планируемые приемы ухода и т. д.).

Определив величину урожайности, уровень которой можно считать реально достижимым в условиях региона и хозяйства, приступают к разработке технологии, реализация которой обеспечит оптимальные условия для формирования урожая. Разработка технологии возделывания культуры осуществляется на основании материалов учебников и учебных пособий по растениеводству, рекомендаций соответствующих научно-практических центров, отраслевых регламентов Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь.

В разрабатываемой технологии возделывания рассматриваемой культуры обязательно должны быть представлены все элементы ее агротехники, начиная с определения и оценки предшественника и заканчивая уборкой. Для всех агроприемов (основная и предпосевная обработка почвы, выбор сорта или гибрида, подготовка семенного материала и посев, интегрированная система защиты от сорняков, болезней и вредителей, предупреждение полегания, применение регуляторов роста стимулирующего характера, современные технологии уборки) следует предусмотреть количественные и качественные характеристики этих приемов. А именно, если речь идет, например, о посеве, то указываются требования к качеству подготовки почвы для посева данной культуры: рекомендуемые нормы высева, глубина заделки семян, оптимальные сроки сева, требования к качеству посева. Так как все работы, составляющие технологию возделываемой культуры, выполняются механизировано, то в разрабатываемой технологии должны быть названы марки трактора и сельскохозяйственных машин, с помощью которых выполняется та или иная операция, указаны наиболее эффективные для каждой работы агрегаты. От правильного подбора тракторов и сельскохозяйственных машин во многом зависит, насколько производительно будет использована техника, какими будут затраты на выполнение работ.

В условиях Беларуси фактором, ограничивающим урожайность сельскохозяйственных растений, является прежде всего плодородие почвы, ее обеспеченность элементами питания. Поэтому при разработке технологии получения программируемого урожая особое место за-

нимает расчет доз удобрений на планируемый урожай, разработка системы их применения и способов внесения. Установить оптимальные дозы удобрений и лучшее соотношение питательных веществ важно, как с агрономической (высокая урожайность), так и экономической (окупаемость и оплата вносимых удобрений) позиций.

4.2. Особенности методики расчета урожаев озимых культур

Несмотря на экологическую приспособленность к различным почвам, каждая культура имеет свои предпочтения к гранулометрическому составу.

Озимая пшеница предъявляет высокие требования к почве. Почва должна быть высокоплодородной (содержание гумуса не менее 2,0 % (подвижного фосфора и обменного калия не менее 150 мг/кг почвы), обладать нейтральной или слабнокислой реакцией почвенного раствора (pH_{KCl} 6,0–7,0). Для возделывания озимой пшеницы пригодны слабооподзоленные связные почвы. Малопродуктивными являются кислые, песчаные и торфяные почвы.

Озимая рожь не требовательна к почве. Благодаря мощному развитию корневой системы и ее высокой усваивающей способности озимая рожь способна обеспечивать себя питательными веществами и влагой на песчаных малоплодородных дерново-подзолистых почвах, а также на торфяниках. Она может расти на почвах с реакцией почвенной среды (pH_{KCl} 5,5–6,0), содержанием гумуса – 1,5–1,7 %, подвижного фосфора и калия – от 150 мг/кг почвы. Вместе с тем она очень отзывчива на повышение плодородия почвы и на высокую агротехнику. В частности, на известкование реагирует положительно, прибавка урожайности достигает 6–8 ц/га. Рекомендуются дерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые и связносупесчаные почвы, подстилаемые моренным суглинком, а также осушенные торфяники низинного типа.

Способность *тритикале* давать более высокие урожаи в сравнении с пшеницей на бедных почвах делает ее перспективной в условиях дефицита средств интенсификации сельскохозяйственного производства. Наиболее высокую урожайность озимая тритикале формирует на связных почвах со слабнокислой или нейтральной реакцией среды (pH 5,8–7,0), содержание гумуса составляет не менее 1,8 %, P_2O_5 и K_2O – не менее 150 мг/кг почвы. Отдельные сорта этой культуры отличаются повышенными требованиями к плодородию и физическим свойствам почвы.

Наиболее пригодны для возделывания *озимого ячменя* хорошо аэрируемые, структурные и плодородные почвы с глубоким пахотным горизонтом и нейтральной реакцией почвенного раствора (рН 6,0–7,5). Он плохо растет на сухих, кислых, песчаных и торфянистых почвах. Особенно озимый ячмень чувствителен к почвам с повышенной кислотностью. Повышенная кислотность угнетает почвенные микроорганизмы, растения ячменя плохо развиваются и снижают свою продуктивность. Заболоченные почвы с близким стоянием грунтовых вод тоже мало пригодны для озимого ячменя. Из дерново-подзолистых почв более благоприятны слабоподзоленные, суглинистые и дерново-глеевые почвы. Высокая требовательность озимого ячменя к почвам прежде всего объясняется относительно слаборазвитой корневой системой и ее низкой усваивающей способностью. Содержание гумуса составляет не менее 1,8 %, P_2O_5 и K_2O – не менее 150 мг/кг почвы.

Методика расчета урожайности представлена на примере *озимой пшеницы*.

Исходные данные: Посев – 05 сентября, всходы культуры – 15 сентября, уход в зиму – 16 октября, возобновление весенней вегетации (ВВВ) – 10 апреля, уборка – 20 июля.

Предшественник – рапс озимый. Почва дерново-подзолистая, легко-суглинистая, подстилаемая моренным суглинком с глубины 0,8 м. Содержание гумуса – 2 %, P_2O_5 – 150 мг/кг, K_2O – 150 мг/кг, рН – 6,0, балл пашни – 30. Глубина залегания грунтовых вод 1,6 м. Мощность пахотного слоя 25 см, объемная масса почвы 1,2 г/см³.

Расчет урожайности. В методе программирования урожая потенциальной принято считать максимально возможную урожайность, которую способен сформировать высокоурожайный сорт рассматриваемой культуры. При этом подразумевается, что растения оцениваемой культуры (сорта) обеспечены всеми факторами жизни в оптимальных количествах и соотношениях.

В основе прогнозирования потенциальной урожайности (ПУ) лежит определение соотношения между количеством энергии приходящей фотосинтетически активной радиации и количеством энергии, аккумулированной в биомассе урожая.

Методика расчета ПУ по приходу ФАР и коэффициенту ее использования предложена профессором А. А. Ничипоровичем:

$$ПУ = \frac{\sum Q_{\text{фар}} \cdot K_{\text{фар}}}{10^4 \cdot q}$$

где ПУ – потенциальная биологическая урожайность абсолютно сухой биомассы, ц/га;

$\sum Q_{\text{фар}}$ – приход суммарной ФАР за период вегетации культуры (от всходов до уборки или от ВВВ до уборки) в данной зоне, млрд. ккал/га (кДж/га);

$K_{\text{фар}}$ – планируемый КПД фотосинтетически активной радиации, %;

q – калорийность 1 кг сухой биомассы урожая, ккал/кг (кДж/кг).

Коэффициент ($K_{\text{фар}}$) использования в продуктах фотосинтеза энергии приходящей ФАР выражается в процентах. Интервал, в границах которого колеблется этот показатель, достаточно велик. А. А. Ничипоровичем была предложена следующая градация уровней использования посевами ФАР: 0,5–1,5 % – низкий; 1, –3,0 % – средний; 3,0–5,0 % – высокий; 5,0–7,0 % – очень высокий; 7,0–17,4 % – теоретически возможный.

Для расчета потенциальной урожайности примем $K_{\text{фар}} = 3\%$, $q = 4450$ ккал/кг, $\sum Q_{\text{фар}}$ – расчётное, исходя из прихода суммарной за вегетацию (согласно справочным изданиям) (табл. 12)

Таблица 12 Приход суммарной фотосинтетически активной радиации, ккал/см², метеостанция г. Горки

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Метеостанция Горки	0,8	1,8	3,9	5,3	7,2	8,1	7,7	6	3,8	2	0,9	0,6

$$\sum Q_{\text{фар}} = \frac{5,3 \cdot 20}{30} + 7,2 + 8,1 + \frac{7,7 \cdot 20}{31} = 23,8 \text{ ккал/см}^2$$

$$PU = \frac{\sum Q_{\text{фар}} \cdot K_{\text{фар}}}{10^4 \cdot q} = \frac{23,8 \cdot 10^8 \text{ ккал/га} \cdot 3\%}{10^4 \cdot 4450 \text{ ккал/га}} = 160,4 \text{ ц/га}$$

Для пересчета найденной величины потенциальной биологической урожайности (ПУ) на стандартную влажность используют уравнение

$$PU_{\text{ст.вл}} = \frac{PU}{100 - V_{\text{ст}}} \cdot 100 = \frac{160,4 \text{ ц/га}}{100 - 14\%} \cdot 100 = 186,5 \text{ ц/га}$$

где $V_{\text{ст}}$ – стандартная влажность, для зерна озимой пшеницы – 14 %.

Чтобы получить ПУ хозяйственно ценной части урожая (зерно, клубни и др.) стандартной влажности в уравнение вводится дополнительный показатель С:

$$\text{ПУ}_{\text{хоз.}} = \frac{\text{ПУ}}{(100 - \text{Вст}) \cdot \text{С}} \cdot 100 = \frac{160,4 \text{ ц/га}}{(100 - 14\%) \cdot 2,4} \cdot 100 = 77,7 \text{ ц/га}$$

где С – сумма составляющих (слагаемых) урожая (зерно + солома, клубни + ботва, корнеплоды + ботва). Для пшеницы озимой 1 часть зерна: 1,3–1,5 части соломы, следовательно С = 1 + 1,4 = 2,4

Величину ПУ зерна или другой основной продукции можно также рассчитать с помощью уравнения, предложенного профессором Х. Г. Тоомингом:

$$\begin{aligned} \text{ПУ}_{\text{хоз}} &= 10^4 \cdot \text{Кфар} \cdot \text{Км} \cdot \frac{\sum \text{Qфар}}{q} = \frac{10^4 \cdot 3\% \cdot 0,465 \cdot 23,8 \text{ ккал/см}^2}{4450 \text{ ккал/кг}} \\ &= 74,6 \text{ ц/га} \end{aligned}$$

где $\text{ПУ}_{\text{хоз}}$ – потенциальная урожайность зерна или другой продукции при стандартной влажности, ц/га;

$\sum \text{Q}_{\text{фар}}$ – суммарный приход ФАР за период вегетации культуры, ккал/см²;

К_m – коэффициент хозяйственной эффективности урожая, равный 0,465

Методика определения КОУ_w базируется на установлении соотношения количества влаги, поступающей в распоряжение растений в течение вегетационного периода, и расходования ее на создание единицы урожая.

1 способ расчета

$W_{\text{год}}$ – 640 мм (метеостанция г. Горки), $\text{К}_{\text{п.о.}}$ – 0,72, К_b – 350 (согласно справочным изданиям). Однако надо помнить, что для выполнения расчетов при прогнозировании максимально высоких урожаев необходимо брать минимальные значения К_b , которые для зерновых культур и многолетних трав составляют 250–300.

$$\text{КОУ}_w = \frac{100 \cdot W_{\text{год}} \cdot \text{К}_{\text{п.о.}} \cdot 100}{\text{К}_b \cdot (100 - \text{В}_{\text{СТ}}) \cdot \text{С}} = \frac{100 \cdot 640 \cdot 0,72 \cdot 100}{350 \cdot (100 - 14) \cdot 2,4} = 63,8 \text{ ц/га}$$

2 способ расчета

$W_{\text{м.с.}}$ – 227 мм, $\text{O}_{\text{в.п.}} = 13 + 15 + 17 + 18 + 19 + 22 + 24 + 27 + 28 + 29 = 212$ мм (расчётное из таблиц), капиллярное подпитывание грунтовыми водами

с глубины 1,6 м – 6 м³/га за сутки. Период от возобновления весенней вегетации до уборки – 102 дня. $W_{гр} = 6 \text{ м}^3/\text{га} \cdot \text{сутки} \cdot 102 \text{ день}/10 = 61,2 \text{ мм}$

$$\begin{aligned}
 \text{КОУ}_w &= \frac{100 \cdot [W_{\text{м.с.}} + (O_{\text{в.п.}} \cdot K_{\text{п.о.}}) + W_{\text{гр.}}] \cdot 100}{K_{\text{в}} \times (100 - B_{\text{ст}}) \times C} \\
 &= \frac{100 \cdot [227 \text{ мм} + (212 \text{ мм} \cdot 0,72) + (6 \text{ м}^3/\text{га} \cdot \text{сутки} \cdot 102 \text{ суток}/10)] \cdot 100}{350 \cdot (100 - 14) \cdot 2,4} \\
 &= 61,0 \text{ ц/га}
 \end{aligned}$$

Воздействие на растения факторов жизни проявляется совокупно. Между приходом солнечной радиации, ресурсами тепла, количеством продуктивной влаги, поступающих в распоряжение растений и их количеством энергии, расходуемой на фотосинтез, транспирацию и испарение влаги с поверхности поля, существует тесная взаимосвязь. Эту взаимосвязь и методику расчета климатически обеспеченной урожайности на основании использования биогидротермического показателя продуктивности выражает формула, предложенная профессором А. М. Рябчиковым:

$$\text{ГТП} = \frac{(W \cdot K_{\text{п.о.}}) \cdot T_v}{36 \cdot R} = \frac{640 \text{ мм} \cdot 0,72 \cdot 13,4 \text{ декад}}{36 \cdot 22,2 \text{ ккал/см}^2} = 7,73 \text{ балла}$$

где ГТП – гидротермический показатель продуктивности (биогидротермический потенциал), баллов;

W – среднегодовое количество осадков, мм;

$K_{\text{п.о}}$ – коэффициент полезности осадков;

T_v – продолжительность периода вегетации, декады (число декад активной вегетации – от всходов до ухода в зиму + от ВВВ до уборки);

R – радиационный баланс за период вегетации, ккал/см² (табл. 13);

36 – число декад в году;

$(W \cdot K_{\text{п.о}})$ – характеризует запас продуктивной влаги, т. е. среднегодовое количество осадков за вычетом стока.

Таблица 13. Радиационный баланс, ккал/см²

Метеостанция г. Смоленск	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
В	-0,5	-0,3	0,7	3,4	6,8	6,9	6,7	4,8	2,9	0,8	-0,2	-0,5

В расчетах общего характера, когда требуется выявить возможности климата региона для возделывания тех или иных культур, возможности и эффективность пожнивных и поукосных посевов, за продолжительность вегетационного периода принимают отрезок времени года, в течение которого растения могут активно проявлять свои жизненные функции.

Радиационный баланс (R) представляет собой показатель, характеризующий разностью между приходящими и уходящими от земной поверхности потоками лучистой энергии.

Таким образом, рассматриваемая методика прогнозирования урожайности базируется на оценке не одного фактора жизни растений, как это имело место в предыдущих случаях, а нескольких. То есть данная методика многопланова, системного характера.

Каждый балл ГТП равен приблизительно 20 ц абсолютно сухой биомассы. Для расчета величины возможной климатически обеспеченной урожайности используют уравнение:

$$\text{КОУ}_{\text{ГТП}} = 22,0 \cdot \text{ГТП} - 10 = 22,0 \cdot 7,73 \text{ баллов} - 10 = 160,1 \text{ ц/га}$$

где $\text{КОУ}_{\text{ГТП}}$ – урожайность абсолютно сухой биомассы, ц/га.

Урожайность абсолютно сухой биомассы пересчитывается на основную продукцию со стандартной влажностью по описанной ранее методике.

$$\text{КОУ}_{\text{ГТП хоз.}} = \frac{\text{КОУ}_{\text{ГТП}}}{(100 - \text{Вст}) \cdot \text{С}} \cdot 100 = \frac{160,1 \text{ ц/га}}{(100 - 14\%) \cdot 2,4} \cdot 100 = 77,6 \text{ ц/га}$$

Действительно возможной (ДВУ) принято считать урожайность, уровень которой определяет реальное почвенное плодородие конкретного поля.

Белорусским НИИ почвоведения и агрохимии разработан ряд методов определения ДВУ. При этом уровень потенциального плодородия почвы оценивается либо косвенно с помощью бонитировочного балла, либо непосредственно по агрохимическим показателям почвенного плодородия – по содержанию в почве гумуса, подвижных фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O).

В агрономической практике уровень потенциального плодородия почвы чаще всего оценивается бонитировочным баллом, который отражает как природные свойства почвы (ее тип, строение, гранулометрический состав, завалуненность, смывтость и т. д.), так и степень агрохимической окультуренности. Для каждой сельскохозяйственной

культуры установлена своя цена одного балла бонитета. Выражается цена балла количеством продукции, получаемой с одного гектара и приходящейся на один балл. Для определения ДВУ по косвенному показателю качественной оценки почвы используется формула

$$\text{ДВУ}_{\text{пот}} = B_{\text{п}} \cdot C_{\text{б.п}} \cdot K = 30 \cdot 63 \cdot 0,96 = 1814,4 \text{ кг/га} = 18,14 \text{ ц/га}$$

где $\text{ДВУ}_{\text{пот}}$ – прогнозируемый действительно возможный урожай, обеспечиваемый потенциальным плодородием почвы, кг/га (ц/га);

$B_{\text{п}}$ – балл бонитета почвы;

$C_{\text{б.п}}$ – цена балла пашни, килограммов продукции;

K – поправочный коэффициент на агрохимические свойства

$B_{\text{п}} = 30$, $C_{\text{б.п.}} = 63$ кг, $K = 0,96$

Программируемая урожайность определяется с учетом разницы между КОУ и ДВУ, которая компенсируется прежде всего за счет внесения расчетных доз минеральных и органических удобрений.

Если величины ПУ, КОУ и ДВУ, определяемые расчетным путем, носят характер оценки количественной зависимости продуктивности растений от тех или иных факторов их жизни, то определение ПрУ сопряжено не только с расчетными, но и с общагрономическими подходами и оценками. Все расчеты и результаты по прогнозированию урожайности не являются абсолютными. Они как бы очерчивают круг, в границах которого растения реализуют свой урожайный потенциал.

Таким образом за счет внесения удобрений урожайность можно значительно повысить. Известно, что отдача от вносимых удобрений во многом зависит от качественной характеристики почвы, ее плодородия. Учитывая это, введем в формулу информацию о возможной отдаче от вносимых удобрений:

$$Y_{\text{п}} = \frac{B_{\text{п}} \cdot C_{\text{б.п.}} \cdot K}{100 - P_{\text{уд}}} \cdot 100 = \frac{30 \cdot 63 \cdot 0,96}{100 - 70} \cdot 100 = \frac{6048 \text{ кг}}{\text{га}} = 60,48 \text{ ц/га}$$

где $Y_{\text{п}}$ – урожайность, которая может быть получена не только за счет потенциального плодородия почвы, но и за счет вносимых удобрений, кг/га, ц/га, т/га;

$P_{\text{уд}}$ – прибавка урожая от удобрений, %. $P_{\text{уд}} = 70$ %

Прежде чем приступить к разработке технологии возделываемой культуры, обеспечивающей получение программируемого урожая, необходимо проанализировать данные, полученные в предыдущих расчетах, и дать им агрономическую оценку.

Фактические данные, полученные при расчетах приведены в табл. 14. На основании этих данных определяется лимитирующий фактор и обосновывается выбор величины программируемого урожая.

Таблица 14. Сравнительная оценка урожайности, прогноз которой выполнен различными методами

Методы расчета возможной величины урожая	Прогнозируемая величина хозяйственно ценного урожая
1. По приходу ФАР и КПД ФАР (ПУ)	77,7; 74,6
2. По влагообеспеченности вегетационного периода (KOU_w)	63,8; 61,0
3. По гидротермическому показателю продуктивности ($KOU_{гтп\ хоз.}$)	77,6
4. По качественной оценке почвы (ДВУ)	18,14
5. Программируемая урожайность (ПрУ)	60,48

Окончательное определение величины программируемой урожайности, основанное на сравнительной оценке результатов прогнозирования, полученных с использованием различных подходов, можно рассматривать как одну из форм метода экспертных оценок.

4.3. Расчеты доз удобрений под программируемый урожай

Расчет доз минеральных удобрений методом элементарного баланса представлен в виде табл. 15.

Таблица 15. Расчет доз минеральных удобрений под озимую пшеницу методом элементарного баланса на урожайность зерна 6,0 т/га

Буквенное обозначение	Показатель	Единица измерения	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	2	3	4	5	6
В	Вынос из почвы питательных веществ с 1 т зерна и соответствующим количеством соломы	кг	28,2	10,8	19,2
В ₀	Общий вынос питательных веществ, необходимых для получения запрограммированного урожая ($B_0 = B \cdot Y$)	кг	169,2	64,8	115,2
П	Содержится в почве питательных веществ в подвижной форме (для N – % гумуса)	мг/кг почвы	2	150	150

Продолжение табл. 15

1	2	3	4	5	6
P_1	Содержится в пахотном горизонте (25 см) питательных веществ (P_2O_5 и K_2O) в подвижной форме $P_1 = P \cdot T \cdot M : 10$, где Т – мощность пахотного слоя, см; М – объемная масса, г/см ³ ; Т · М:10 – масса пахотного слоя. 25 см · 1,2:10 = 3 N – % гумуса · 22,5	кг/га	45	450	450
K_n	Коэффициент усвоения питательных веществ из почвы	%	100	8	13
I_n	Количество питательных веществ, которое будет получено растениями из почвы ($I_n = P_1 \cdot K_n \cdot 0,01$)	кг/га	45,0	36,0	58,5
О	Внесено органических удобрений	т/га	30		
C_n	Содержание питательных веществ в навозе	%	0,5	0,25	0,6
H_n	Поступит в почву с навозом питательных веществ ($H_n = O \cdot C_n \cdot 10$)	кг/га	150	75	180
K_1	Коэффициент усвоения питательных веществ органических удобрений в год выращивания программируемого урожая	%	30	30	50
I_o	Будет использовано растениями питательных веществ из органических удобрений ($I_o = H_n \cdot K_1 \cdot 0,01$)	кг/га	45	22,5	90
И	Общее количество питательных веществ, которое могут получить растения из почвы и органических удобрений ($I = I_n + I_o$)	кг/га	90,0	58,5	148,5
Д	Требуется внести питательных веществ с минеральными удобрениями ($D = B_o - I$)	кг/га	79,2	6,3	-33,3
K_m	Коэффициент усвоения питательных веществ	%	60	15	50

1	2	3	4	5	6
	минеральных удобрений				
D_m	Доза питательных веществ минеральных удобрений, которую необходимо внести с учетом коэффициента их использования ($D_m = D : K_m \cdot 100$)	кг/га	132	42,0	–
C_t	Содержится питательных веществ в туках*	%	46,2	46	60
M_y	Норма внесения минеральных удобрений ($M_y = D_m : C_t$)	ц/га	2,9	0,9	–

* Карбамид (содержание д. в. по ГОСТ 2081-92– 46,2%); суперфосфат двойной (содержание д. в. – 46 %); хлористый калий (содержание д. в. – 60 %)

Балансовый метод определения доз удобрений предусматривает:

- 1) учет выноса урожаем питательных веществ из почвы;
- 2) при негативном балансе – способы и величину компенсации.

Недостатком выполненного расчета является то, что он не учитывает достаточно широкую вариацию коэффициентов использования фосфора и калия из почвы и удобрений при изменении доз азота, кислотности почвы, погодных условий и самих норм внесения минеральных удобрений. Кроме того, вынос NPK с единицей продукции также не является постоянным. С увеличением урожайности он уменьшается.

Названные недостатки существенно снижают объективность расчета, построенного на, казалось бы, безупречной логике.

Поэтому в последнее время широкое распространение, в том числе и в компьютерных программах, получил способ расчета с использованием коэффициентов возврата (возмещения) питательных веществ K_b , который определяется как отношение оптимальной дозы удобрения (по результатам полевых опытов), кг/га д. в., к выносу NPK урожаем в оптимальном варианте.

Расчет доз удобрений под запланированный урожай с учетом коэффициента возврата питательных веществ в почву.

Норму внесения азотных удобрений рассчитывают по формуле:

$$D_N = \frac{B \cdot Y \cdot K_b}{100} - (H_0 T_0 + H_1 T_1) - K_n$$

где D_N – норма внесения азотных удобрений, кг/га азота;

V – нормативный вынос элемента питания с 1 ц основной и соответствующим количеством побочной продукции, кг;

$У$ – планируемая урожайность возделываемой культуры, ц/га;

K_B – коэффициент возврата азота, % ;

H_0 – доза органических удобрений, планируемая под возделываемую культуру, т/га;

T_0 – количество элемента питания, используемое из 1 т органических удобрений в год их внесения, кг;

H_1 – доза органических удобрений, внесенная под предшествующую культуру, т/га;

T_1 – количество элемента питания, используемое из 1 т органических удобрений во второй год действия, кг;

K_n – поправка к дозе азотных удобрений в зависимости от предшественника, кг/га (после однолетних и многолетних бобовых трав расчетную дозу азотных удобрений уменьшают на 20 кг/га, после зернобобовых, многолетних бобово-злаковых трав или однолетних бобово-злаковых смесей – на 10 кг/га).

Расчет доз азота по действующему веществу:

$$D_N = \frac{2,82 \cdot 60,48 \text{ ц/га} \cdot 70}{100} - (30 \cdot 0,9 + 0) - 0 = 92,4 \text{ кг/га д. в.}$$

Расчет доз фосфора по действующему веществу:

$$D_{P_2O_5} = \frac{V \cdot У \cdot K_B \cdot K_{pH}}{100} - (H_0 T_0 + H_1 T_1)$$

где $D_{P_2O_5}$ – норма внесения фосфорных удобрений, P_2O_5 кг/га;

K_B – коэффициент возврата фосфора, %;

K_{pH} – коэффициент корректировки доз P_2O_5 в зависимости от степени кислотности почв (при pH в KCl менее 5,0 $K_{pH} = 1,2$; при pH 5,1–5,5 $K_{pH} = 1,1$).

$$D_{P_2O_5} = \frac{1,08 \cdot 60,48 \text{ ц/га} \cdot 170 \cdot 1}{100} - (30 \cdot 0,5 + 0) = 96 \text{ кг/га д. в.}$$

Расчет доз калия по действующему веществу:

$$D_{K_2O} = \frac{V \cdot У \cdot K_B \cdot K_{pH}}{100} - (H_0 T_0 + H_1 T_1)$$

где D_{K_2O} – норма внесения калийного удобрения, K_2O кг/га;

K_B – коэффициент возврата питательного элемента, % ;

K_{pH} – коэффициент корректировки доз K_2O в зависимости от степени кислотности почв (при pH в KCl 5,6–6,0 $K_{pH} = 1,1$; более 6,0 $K_{pH} = 1,2$).

$$D_{K_2O} = \frac{1,92 \cdot 60,48 \text{ ц/га} \cdot 110 \cdot 1,1}{100} - (30 \cdot 2 + 0) = 80,5 \text{ кг/га д. в.}$$

4.4. Математические модели урожая зерновых культур по элементам структуры

Агрономическую структурную модель прогнозируемого урожая можно представить с помощью параметров компонентов продуктивности растений и характеристики фотосинтезирующего аппарата.

Одинаковая урожайность может быть получена при разных количественных характеристиках ее структуры. Продуктивность одного колоса зависит от крупности зерен (масса 1000 шт.) и количества их в колосе.

Определение биологической урожайности зерна производится по формуле, предложенной профессором М. С. Савицким:

$$Y = \frac{(P \cdot K) \cdot (3 \cdot M)}{10\,000},$$

где Y – урожайность, ц/га;

P – количество растений к уборке, шт/м²;

K – продуктивная кустистость;

3 – среднее число зерен в колосе, шт.;

M – масса 1000 зерен, г;

10 000 – число для перевода урожайности в центнеры на гектар

Анализ урожайности дает возможность установить количественные характеристики элементов продуктивности при оценке фактического урожая.

Из структурной формулы урожайности можно определить количество растений (P), которое необходимо иметь к уборке:

$$P = \frac{Y \cdot 10000}{K \cdot 3 \cdot M},$$

а затем рассчитать необходимую весовую норму высева по следующей формуле:

$$H_B = \frac{P \cdot M \cdot 100}{V_{об} \cdot ПГ},$$

где ПГ – посевная годность семян, %;

$V_{об}$ – общая выживаемость, %.

Общая выживаемость для озимых культур рассчитывается по формуле:

$$V_{об(оз)} = \frac{V_{п} \cdot П_з \cdot C_x}{10000},$$

где $V_{об(оз)}$ – общая выживаемость озимых культур, %;

$V_{п}$ – полевая всхожесть, %;

$П_з$ – перезимовка, %;

C_x – сохраняемость перезимовавших растений, %.

$$ПГ = \frac{V_{л} \cdot Ч}{100},$$

где ПГ – посевная годность, %;

$V_{л}$ – лабораторная всхожесть, %;

$Ч$ – чистота семян, %.

Формирование элементов структуры урожая носит динамичный характер, т. е. каждый из них закладывается и развивается на разных этапах роста и развития растения. Количество растений на единице площади определяют норма высева и полевая всхожесть.

Норма высева рассчитывается по формуле

$$H = \frac{K \cdot A \cdot 100}{ПГ},$$

где H – норма высева, кг/га;

K – коэффициент высева семян, млн/га

A – масса 1 000 семян, г;

$ПГ$ – посевная годность семян, %.

На разных этапах формирования урожая требуются различный уровень и количество факторов жизни, которое определяется биологическими особенностями культуры, климатом и погодными условиями. С другой стороны, формированием урожая можно управлять посредством применения различных агроприемов, проводимых в разные фазы жизни растений. Установив оптимальный уровень урожайности и

определив его составляющие, необходимо при разработке технологии культуры проектировать такие агроприемы, которые в наибольшей степени будут способствовать фактическому проявлению элементов урожайности.

Выбор показателя (величины) каждого из элементов структуры прогнозируемого урожая определяют почвенно-климатические условия региона, особенности сорта, но прежде всего особенности элементов агротехники разрабатываемой технологии (норма высева, способ посева, сроки сева, глубина заделки семян, планируемые дозы удобрений и планируемые приемы ухода и т. д.). Оптимальная модель посева зерновых культур представлена в табл. 16.

Таблица 16. **Оптимальная модель посева зерновых культур**

Культура	Количество растений на 1 м ² при уборке	Продуктивная кустистость	Число продуктивных стеблей на 1 м ²	Число зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Потенциально возможный урожай зерна, т/га
Озимая пшеница	400–500	1,65–2,0	600–700	32–42	35–45	7–13
Озимая рожь	400–500	1,5–2,0	600–700	42–56	28–35	7–12
Яровая пшеница	400–500	1,2–1,6	600–800	32–42	30–40	6–12
Ячмень	300–400	1,5–2,0	600–800	21	36–50	6–10
Овес	400–500	1,5–1,8	600–800	35	30–35	6–10
Озимая тритикале	270–400	1,7–2,2	600–700	45–60	41–60	11–15
Яровая тритикале	400–500	1,1–2,2	600–800	40–50	35–45	8–13

Определив величину урожайности, уровень которой можно считать реально достижимым в условиях региона и хозяйства, приступают к разработке технологии, реализация которой обеспечит оптимальные условия для формирования урожая.

Лекция 5. Программирование урожайности кукурузы

- 5.1. Методика расчета урожайности кукурузы.
- 5.2. Расчеты доз удобрений под программируемый урожай кукурузы.
- 5.3. Математические модели урожая зерна кукурузы по элементам структуры.

5.1. Методика расчета урожайности кукурузы

Кукуруза – теплолюбивая культура. Ее семена прорастают при температуре $+8...+10$ °С, оптимальная для прорастания семян – $+12...+15$ °С. Оптимальная температура в период формирования вегетативных и генеративных органов – $+16+20$ °С. Наиболее благоприятная температура для роста кукурузы – $+20...+23$ °С. Сумма активных температур, необходимая для созревания скороспелых сортов и гибридов, составляет $2100-2400$ °С, среднеспелых и позднеспелых – $2600-3000$ °С.

К почве кукуруза менее требовательна, чем к температуре и влаге. Ее можно сеять на средних и тяжелых почвах с хорошей водоудерживающей способностью. Почвы с повышенной кислотностью (рН менее 5,5), склонные к заболачиванию, а также с близким (менее 60–80 см от поверхности почвы) залеганием грунтовых вод непригодны для возделывания кукурузы. Оптимальным считается содержание подвижного фосфора и обменного калия в почве – не менее 150 мг/кг.

При расчетах урожайности по зеленой массе и зерну кукурузы необходимо учитывать, что для яровой культуры $\sum Q_{\text{ФАР}}$ рассчитывается от момента появления всходов. Сумма составляющих основной и побочной продукции (С) при расчете потенциальной урожайности зеленой массы кукурузы – 1. Сумму осадков за вегетационный период рассчитывают от посева до уборки. При расчете доз минеральных удобрений необходимо запланировать внесение органических удобрений.

Исходные данные: Посев кукурузы (на зерно) – 26 апреля, всходы культуры – 06 мая, уборка – 01 октября.

Предшественник – кукуруза (на силос), под которую вносилось 60 т/га навоза КРС. Почва дерново-подзолистая, легкосуглинистая, подстилаемая моренным суглинком с глубины 0,8 м. Содержание гумуса – 2 %, P_2O_5 – 150 мг/кг, K_2O – 150 мг/кг, рН – 6,0, балл пашни – 30. Глу-

бина залегания грунтовых вод 1,6 м. Мощность пахотного слоя 25 см, объемная масса почвы 1,2 г/см³. Под кукурузу вносилось 40 т/га навоза КРС.

Расчет урожайности. Для расчета урожайности используем те же формулы, что и для озимой пшеницы.

Для расчета *потенциальной урожайности* примем $K_{\text{фар}} = 3\%$, $q = 4100$ ккал/кг, $\Sigma Q_{\text{фар}}$ – расчётное, исходя из прихода суммарной за вегетацию (согласно справочным изданиям) (табл. 12, лекция 4)

$$\Sigma Q_{\text{фар}} = \frac{7,2 \cdot 26}{31} + 8,1 + 7,7 + 6,0 + 3,8 = 31,6 \text{ ккал/см}^2$$

$$PU = \frac{\Sigma Q_{\text{фар}} \cdot K_{\text{фар}}}{10^4 \cdot q} = \frac{31,6 \cdot 10^8 \text{ ккал/га} \cdot 3\%}{10^4 \cdot 4100 \text{ ккал/га}} = 231,2 \text{ ц/га}$$

Для пересчета найденной величины потенциальной биологической урожайности (ПУ) на стандартную влажность используют уравнение

$$PU_{\text{ст. вл}} = \frac{PU}{100 - V_{\text{ст}}} \cdot 100 = \frac{231,2 \text{ ц/га}}{100 - 14\%} \cdot 100 = 268,8 \text{ ц/га}$$

где $V_{\text{ст}}$ – стандартная влажность, для зерна кукурузы – 14 %.

$$PU_{\text{хоз}} = \frac{PU}{(100 - V_{\text{ст}}) \cdot C} \cdot 100 = \frac{231,2 \text{ ц/га}}{(100 - 14\%) \cdot 2,5} \cdot 100 = 107,5 \text{ ц/га}$$

C – для кукурузы на зерно соотношение зерна и соломы 1:1,2–2,0, следовательно $C = 2,2 \dots 3,0$. Примем данный показатель равным 2,5

Расчеты по уравнению Х. Г. Тооминга:

$$PU_{\text{хоз}} = 10^4 \cdot K_{\text{фар}} \cdot K_{\text{м}} \cdot \frac{\Sigma Q_{\text{фар}}}{q} = \frac{10^4 \cdot 3\% \cdot 0,521 \cdot 31,6 \text{ ккал/см}^2}{4100 \text{ ккал/кг}} = 120,5 \text{ ц/га}$$

$K_{\text{м}}$ – коэффициент хозяйственной эффективности урожая, равный у кукурузы на зерно 0,521

Проведем расчет климатически обеспеченной урожайности (КОУ_w) двумя способами:

1 способ расчета

$W_{\text{год}}$ – 640 мм (метеостанция г. Горки), $K_{\text{п.о.}}$ – 0,72, $K_{\text{в}}$ – 250 (при прогнозировании максимально высоких урожаев необходимо брать минимальные значения согласно справочным данным).

$$КОУ_w = \frac{100 \cdot W_{\text{год}} \cdot K_{\text{п.о.}} \cdot 100}{K_B \cdot (100 - B_{\text{СТ}}) \cdot C} = \frac{100 \cdot 640 \cdot 0,72 \cdot 100}{250 \cdot (100 - 14) \cdot 2,5} = 85,7 \text{ ц/га}$$

2 способ расчета

$W_{\text{м.с.}}$ – количество продуктивной влаги в метровом слое почвы на момент посева кукурузы – 212 мм (табличные данные), $O_{\text{в.п.}}=7,5+54+73+87+85+57 = 363,5$ мм (расчётное из таблиц), капиллярное подпитывание грунтовыми водами с глубины 1,6 м – 6 м³/га за сутки. Период от посева до уборки – 158 дней. $W_{\text{гр}}=6$ м³/га·сутки·158 дней/10 = 94,8мм

$$\begin{aligned} КОУ_w &= \frac{100 \cdot [W_{\text{м.с.}} + (O_{\text{в.п.}} \cdot K_{\text{п.о.}}) + W_{\text{гр.}}] \cdot 100}{K_B \times (100 - B_{\text{СТ}}) \times C} \\ &= \frac{100 \cdot [212 \text{ мм} + (363,5 \text{ мм} \cdot 0,72) + 94,8] \cdot 100}{250 \cdot (100 - 14) \cdot 2,5} \\ &= 105,8 \text{ ц/га} \end{aligned}$$

$$ГТП = \frac{(W \cdot K_{\text{п.о.}}) \cdot T_v}{36 \cdot R} = \frac{640 \text{ мм} \cdot 0,72 \cdot 14,8 \text{ декад}}{36 \cdot 28,8 \text{ ккал/см}^2} = 6,58 \text{ балла}$$

T_v – продолжительность периода вегетации кукурузы – 14,8 декады (число декад активной вегетации – от появления всходов до уборки);

R – радиационный баланс за период вегетации кукурузы $R=0,68+6,8+6,9+6,7+4,8+2,9 = 28,8$ ккал/см² (табл. 13, лекция 4);

Каждый балл ГТП равен приблизительно 20 ц абсолютно сухой биомассы. Произведем расчет величины возможной климатически обеспеченной урожайности:

$$КОУ_{\text{ГТП}} = 22,0 \cdot ГТП - 10 = 22,0 \cdot 6,58 \text{ балла} - 10 = 134,8 \text{ ц/га}$$

где $КОУ_{\text{ГТП}}$ – урожайность абсолютно сухой биомассы, ц/га.

Урожайность абсолютно сухой биомассы пересчитывается на основную продукцию со стандартной влажностью по описанной ранее методике.

$$КОУ_{\text{ГТП хоз.}} = \frac{КОУ_{\text{ГТП}}}{(100 - B_{\text{СТ}}) \cdot C} \cdot 100 = \frac{134,8 \text{ ц/га}}{(100 - 14\%) \cdot 2,5} \cdot 100 = 62,7 \text{ ц/га}$$

Для определения ДВУ по косвенному показателю качественной оценки почвы используется формула

$$ДВУ_{\text{пот}} = B_{\text{п}} \cdot Ц_{\text{б.п}} \cdot K = 30 \cdot 75 \cdot 0,96 = 2160 \text{ кг/га} = 21,6 \text{ ц/га}$$

где ДВУ_{пот} – прогнозируемый действительно возможный урожай, обеспечиваемый потенциальным плодородием почвы, кг/га (ц/га);

Б_п – балл бонитета почвы;

Ц_{б.п} – цену балла пашни примем равным 50 килограммов продукции (для зерновых в целом);

К – поправочный коэффициент на агрохимические свойства

Б_п –30, Ц_{б.п.}– для кукурузы на зерно при обычной технологии –50 кг; при интенсивной – 60...75 кг; К – 0,96

Программируемую урожайность (У_п) для кукурузы на зерно считываем по формуле:

$$У_{п} = \frac{Б_{п} \cdot Ц_{б.п.} \cdot К}{100 - П_{уд}} \cdot 100 = \frac{30 \cdot 75 \cdot 0,96}{100 - 70} \cdot 100 = 7200 \text{ кг/га} = 72,0 \text{ ц/га}$$

где У_п – урожайность, которая может быть получена не только за счет потенциального плодородия почвы, но и за счет вносимых удобрений, кг/га, ц/га, т/га;

П_{уд} – прибавка урожая от удобрений, %. П_{уд} – 70 %

5.2. Расчеты доз удобрений под программируемый урожай кукурузы

Норма внесения удобрений – это общее количество питательных веществ (действующего вещества) или удобрения, вносимое за весь вегетационный период на площадь (кг/га или г/га).

Доза удобрения – это конкретное количество удобрений, вносимое за один прием. Норма определяет потребность, а доза – разовую порцию.

Последовательность расчетов доз внесения минеральных удобрений под кукурузу *балансовым методом* представлена в табл. 17.

Таблица 17. – Расчет доз минеральных удобрений под кукурузу (на зерно) методом элементарного баланса на урожайность зерна 7,2 т/га

Буквенное обозначение	Показатель	Единица измерения	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	2	3	4	5	6
В	Вывод из почвы питательных веществ с 1 т зерна и соответствующим количеством соломы	кг	30,2	13,3	27,6

Продолжение табл. 17

1	2	3	4	5	6
V_0	Общий вынос питательных веществ, необходимых для получения запрограммированного урожая ($V_0 = V \cdot Y$)	кг	217,4	95,8	198,7
P	Содержится в почве питательных веществ в подвижной форме (для N – % гумуса)	мг/кг почвы	2	150	150
P_1	Содержится в пахотном горизонте (25 см) питательных веществ (P_2O_5 и K_2O) в подвижной форме $P_1 = P \cdot T \cdot M : 10$, где T – мощность пахотного слоя, см; M – объемная масса, г/см ³ ; $T \cdot M : 10$ – масса пахотного слоя (25 см \cdot 1,2 : 10 = 3) N – % гумуса \cdot 22,5	кг/га	45	450	450
K_n	Коэффициент усвоения питательных веществ из почвы	%	100	9	16
I_n	Количество питательных веществ, которое будет получено растениями из почвы ($I_n = P_1 \cdot K_n \cdot 0,01$)	кг/га	45,0	40,5	72,0
O	Внесено органических удобрений	т/га	40		
C_n	Содержание питательных веществ в навозе	%	0,5	0,25	0,6
H_n	Поступит в почву с навозом питательных веществ ($H_n = O \cdot C_n \cdot 10$)	кг/га	200	100	240
K_1	Коэффициент усвоения питательных веществ органических удобрений в год выращивания программируемого урожая	%	35	45	60
I_o	Будет использовано растениями питательных веществ из органических удобрений ($I_o = H_n \cdot K_1 \cdot 0,01$)	кг/га	70	45	144
I	Общее количество питательных веществ, которое могут получить растения из почвы и органических	кг/га	115	85,5	216

Окончание табл. 17

1	2	3	4	5	6
	удобрений ($I=I_n+I_o$)				
Д	Требуется внести питательных веществ с минеральными удобрениями ($D=B_o-I$)	кг/га	102,4	10,3	-17,3
K_m	Коэффициент усвоения питательных веществ минеральных удобрений	%	60	15	50
D_m	Доза питательных веществ минеральных удобрений, которую необходимо внести с учетом коэффициента их использования ($D_m=D : K_m \cdot 100$)	кг/га	170,7	68,7	–
C_T	Содержится питательных веществ в туках*	%	46,2	33(+8 N)**	60
M_y	Норма внесения минеральных удобрений ($M_y=D_m : C_T$)	ц/га	3,7	2,1	–

* Карбамид (содержание д. в. по ГОСТ 2081-92 – 46,2%); аммонизированный суперфосфат (содержание д. в. $N:P_2O_5$ – 8,0:33,0 %); хлористый калий (содержание д. в. – 60 %)

** – поскольку комплексные составы удобрений содержат более одного элемента питания, потребуется внести корректировки в дозы внесения простых удобрений, чтобы избежать переизбытка элемента питания.

Расчет доз удобрений под запланированный урожай с учетом коэффициента возврата питательных веществ в почву.

Норму внесения азотных удобрений рассчитывают по формуле:

$$D_N = \frac{B \cdot Y \cdot K_B}{100} - (H_0 T_0 + H_1 T_1) - K_n$$

Расчет доз азота по действующему веществу в нашем случае:

$$D_N = \frac{3,02 \cdot 72,0 \text{ ц/га} \cdot 80}{100} - (40 \cdot 0,9 + 60 \cdot 0,5) - 0 = 108 \text{ кг/га д. в.}$$

$K_B = 80$ % с учетом того, что урожайность кукурузы относится к IV уровню урожайности (справочные данные); $H_0 = 40$ т/га (по условию); $T_0 = 0,9$ кг (справочные данные); $H_1 = 60$ т/га (по условию задания); $T_1 = 0,5$ кг (справочные данные); $K_n = 0$

Расчет доз фосфора:

$$D_{P_2O_5} = \frac{B \cdot Y \cdot K_B \cdot K_{pH}}{100} - (H_0 T_0 + H_1 T_1)$$

K_{pH} – коэффициент корректировки доз P_2O_5 в зависимости от степени кислотности почв (при pH в КСІ менее 5,0 $K_{pH} = 1,2$; при pH 5,1–5,5 $K_{pH} = 1,1$). В нашем случае данный показатель равен 1.

$K_B = 180$ (справочные данные); $H_0 = 40$ т/га (по условию); $T_0 = 0,5$ кг (справочные данные); $H_1 = 60$ т/га (по условию задания); $T_1 = 0,15$ кг (справочные данные).

$$\begin{aligned} D_{P_2O_5} &= \frac{1,33 \cdot 72,0 \text{ ц/га} \cdot 180 \cdot 1}{100} - (40 \cdot 0,5 + 60 \cdot 0,15) \\ &= 143,4 \text{ кг/га д. в.} \end{aligned}$$

Расчет доз калия:

$$\begin{aligned} D_{K_2O} &= \frac{B \cdot Y \cdot K_B \cdot K_{pH}}{100} - (H_0 T_0 + H_1 T_1) \\ D_{K_2O} &= \frac{2,76 \cdot 72,0 \text{ ц/га} \cdot 100 \cdot 1,1}{100} - (40 \cdot 2 + 60 \cdot 0,48) \\ &= 109,8 \text{ кг/га д. в.} \end{aligned}$$

$K_B = 100$ (справочные данные); $H_0 = 40$ т/га (по условию); $T_0 = 2,0$ кг (справочные данные); $H_1 = 60$ т/га (по условию задания); $T_1 = 0,48$ кг (справочные данные); K_{pH} – коэффициент корректировки доз K_2O в зависимости от степени кислотности почв (при pH в КСІ 5,6–6,0 $K_{pH} = 1,1$; более 6,0 $K_{pH} = 1,2$).

Кукуруза требовательна к почвенному плодородию, питательные элементы потребляет весь вегетационный период вплоть до восковой спелости зерна. Примерно 50% всех элементов питания поглощается в период быстрого роста – от выметывания метелок до цветения. В начальный период вегетации кукуруза растет медленно и поглощает немного элементов питания. Но они должны быть в достатке и находиться в доступной форме. Особенно это важно в отношении фосфора. Поэтому внесение 10–15 кг/га P_2O_5 в рядки при посеве обязательно. Система удобрения культуры органоминеральная. Использовать можно любые органические удобрения, лучший срок их внесения – осенью под вспашку, а на почвах легкого механического состава вносить и весной под вспашку. При использовании высоких доз азотных удобрений (более 120 кг/га) их вносят в два приема: в основное внесение в

предпосевную культивацию (90–100 кг/га) и в подкормку при первой междурядной обработке (20–30 кг/га). Для основного внесения можно использовать карбамид или КАС, а для подкормки – аммиачную селитру или карбамид, но при обязательной заделке в почву последнего. Фосфорные и калийные удобрения на почвах более тяжелого механического состава (глинистые и суглинистые) лучше вносить осенью под вспашку.

При двухлетнем возделывании кукурузы на одном поле (в прифермских севооборотах) в первый год вносятся органические удобрения (50 т/га) и полная доза минеральных. На второй год органику не вносят, а применяют только минеральные туки (NPK). Если в первый год вносится больше органических удобрений (100 т/га и более), то из минеральных следует вносить только азотные. Во второй год рекомендуется также использовать чисто минеральную систему удобрения. Во избежание накопления избыточного количества нитратов в зеленой массе культуры предельная доза азота не должна превышать 140 кг/га

5.3. Математические модели урожая зерна кукурузы по элементам структуры

Определение биологической урожайности зерна кукурузы производится по формуле:

$$Y = \frac{(P \cdot K) \cdot (3 \cdot M)}{10\,000},$$

где Y – урожайность, ц/га;

P – количество растений к уборке, шт/м²;

K – количество початков, шт/растение;

3 – среднее число зерен в початке, шт.;

M – масса 1000 зерен, г;

10000 – число для перевода урожайности в ц/га.

Для расчета биологической урожайности кукурузы, возделываемой на зеленую массу используют формулу:

$$Y = \frac{P \cdot M_p}{1\,000},$$

где Y – урожайность, т/га;

P – количество растений к уборке, тыс. шт /га;

M_p – средняя масса растения, кг;

1000 – число для перевода урожайности в т/га.

Моделируя формулу для расчета биологической урожайности зерна кукурузы можно определить количество растений (Р), которое необходимо иметь к уборке:

$$P = \frac{Y \cdot 10000}{K \cdot Z \cdot M},$$

а затем рассчитать необходимую весовую норму высева по следующей формуле:

$$H_v = \frac{P \cdot M \cdot 100}{V_{об} \cdot ПГ},$$

ПГ – посевная годность семян, %;

$V_{об}$ – общая выживаемость, %.

$$V_{об(яр)} = \frac{V_{п} \cdot C_x}{100},$$

где $V_{об(яр)}$ – общая выживаемость яровых культур, %;

$V_{п}$ – полевая всхожесть, %;

C_x – сохраняемость всходов, %.

$$ПГ = \frac{V_{л} \cdot Ч}{100},$$

где ПГ – посевная годность, %;

$V_{л}$ – лабораторная всхожесть, %;

Ч – чистота семян, %.

Штучная норма высева кукурузы рассчитывается по следующей формуле:

$$H_v = \frac{\Gamma \cdot 100}{ПГ - 10 - 15\%},$$

где Γ – планируемая густота стояния растений, шт/га;

ПГ – посевная годность семян, %;

10–15 % – поправка на полевую всхожесть семян, %.

Определив величину урожайности, уровень которой можно считать реально достижимым в условиях региона и хозяйства, приступают к разработке технологии, реализация которой обеспечит оптимальные условия для формирования урожая.

Оптимальная модель посева кукурузы на зерно и на силос представлена в табл. 18.

Таблица 18. Оптимальная модель посева кукурузы

Показатель	Кукуруза	
	зерно	зеленая масса
Оптимальная густота стояния к уборке, тыс. шт /га	80–100	100–120
Количество початков на растении, шт.	1,0–1,2	
Масса зерна с початка, г	100–180	
Число зерен в початке, шт.	400–600	
Масса 1000 зерен, г	250–300	
Масса растения, кг		0,6–0,9
Потенциально возможный урожай зерна, т/га	7–12	50–60

Для расчета зеленой массы важно проводить замеры в фазе молочно-восковой спелости зерна, когда масса кукурузы максимальна.

Лекция 6. Программирование урожайности зерновых бобовых культур

- 6.1. Методика расчета урожайности гороха.
- 6.2. Расчеты доз удобрений под программируемый урожай гороха
- 6.3. Математические модели урожая зерна зерновых бобовых культур по элементам структуры.

6.1 Методика расчета урожайности гороха

Бобовые культуры являются уникальными растениями, сосуществовая с бактериями, которые ассимилируют свободный азот из атмосферы. Благодаря этому, они обогащают почву этим элементом и используют для собственных процессов роста. Корневые и пожнивные остатки после уборки обогащают почву калием (около 35 кг/га) и фосфором (25 кг/га), а корни бобовых культур ограничивают деградацию почвы.

Горох является относительно холодостойким растением, его семена начинают прорастать при минимальной положительной температуре (+1...+2 °C), однако в таких условиях появление всходов затягивается.

Наиболее благоприятной с технологической точки зрения температурой для прорастания семян является $+4\dots+6$ °С, когда всходы появляются на 7–8-й день.

К почвенным условиям горох предъявляет повышенные требования и обеспечивает высокие урожаи на плодородных, структурных почвах с содержанием гумуса не менее 1,8 %, P_2O_5 и K_2O около 150–200 мг/кг и плотностью 1,1–1,2 г/см³. В условиях Республики Беларусь наиболее подходящими для выращивания гороха являются легко и среднесуглинистые почвы, а также плодородные супеси, подстилаемые мореной или моренным суглинком. Одной из основных причин, ограничивающих урожайность гороха, является повышенная кислотность почвы, оптимальный уровень которой составляет pH_{KCl} 6,2–7,0, а повышение кислотности до pH_{KCl} 5,5 и ниже резко снижает урожайность гороха. Песчаные и супесчаные, подстилаемые песками почвы непригодны для возделывания этой культуры по причине низкого плодородия и влагообеспеченности. Тяжелые, заплывающие, глинистые почвы также не подходят для гороха в связи с избыточной влажностью, повышенной плотностью и низкой аэрацией. На торфяно-болотных почвах нежелательно выращивание гороха из-за повышенной концентрации минерализованного азота.

Люпин. Люпин узколистный менее теплолюбив, чем желтый и белый. Семена начинают прорастать при температуре $+4\dots+5$ °С. Технологически оптимальная температура для прорастания семян и дружного появления всходов находится в пределах $+7\dots+9$ °С, что обуславливает возможность ранних сроков посева люпина.

Среди всех бобовых и зерновых колосовых люпин является наименее требовательной культурой к почвенному плодородию. Лучшими для узколистного кормового люпина являются дерново-подзолистые супесчаные почвы, легкие и средние суглинки. Люпин хорошо произрастает и дает высокие урожаи зеленой массы и зерна также на легких суглинках, супесчаных и песчаных почвах. Мощно развитая корневая система страдает от близкого уровня залегания грунтовых вод. Они не должны подступать к поверхности почвы ближе 1–1,5 м.

По кислотности лучшими являются слабокислые почвы с pH_{KCl} 5,5–6,0. Однако люпин хорошо переносит повышенную кислотность почвенного раствора pH_{KCl} 4,8–5,3. На почвах с содержанием подвижных форм P_2O_5 и K_2O 150–200 мг на 1 кг почвы отпадает необходимость во внесении фосфорно-калийных минеральных удобрений. Люпин плохо

произрастает на тяжелых, сырых, малопроницаемых, заплывающих глинистых почвах и глубоких песках.

Соя относится к теплолюбивым растениям и температурный режим до настоящего времени являлся основным сдерживающим фактором широкого возделывания этой культуры в Беларуси. Однако после создания скороспелых и ультраскороспелых сортов, требующих суммы активных температур за вегетационный период 1700–2200 °С, соя устойчиво может вызревать на всей территории нашей республики. Минимальной для прорастания семян является температура +6...+7 °С, но при таких условиях всходы могут появляться только через 20 дней или более, а при повышении температуры до +14...+16 °С всходы появляются через 7–8 дней.

Соя относится к культурам, не очень требовательным к почвенному плодородию, но положительно реагирует на его повышение. В условиях Беларуси пригодными для ее возделывания являются супесчаные, легко- и среднесуглинистые почвы. На песчаных почвах получают низкие урожаи по причине недостаточной влагообеспеченности, тяжелые глинистые почвы не пригодны для ее возделывания из-за слабой аэрации, что сдерживает развитие клубеньковых бактерий. По отношению к кислотности почвы соя является очень пластичной культурой и может произрастать в диапазоне pH_{KCl} 5,5–8,0, но оптимальный уровень этого показателя находится в пределах pH_{KCl} 6,2–7,2.

Соя малотребовательна к гранулометрическому составу и содержанию гумуса в почве, и одинаково хорошо удается как на легких, так и на тяжелых почвах, на малогумусных лесных почвах и на осушенных торфяниках. Тем не менее рыхлые, легко прогреваемые почвы, с высоким содержанием гумуса и нейтральной реакцией среды – наиболее пригодны для возделывания сои. Именно такие условия являются оптимальными для развития клубеньковых бактерий, живущих на корнях сои и обеспечивающих ее азотом. Хорошая обеспеченность сои азотом позволяет ей развить мощную корневую систему, что, в свою очередь, способствует более полному усвоению других элементов питания.

Для формирования 1 ц семян и соответствующего количества побочной продукции она выносит из почвы в среднем 8,4 кг азота, 2,2 кг фосфора и 3,6 кг калия. За счет биологической азотификации соя удовлетворяет потребность в азоте на 40–70 %, что эквивалентно экономии 50–80 кг/га азота, минеральных удобрений. Поэтому азотные удобрения под эту культуру, как правило, малоэффективны, особенно

в тех случаях, когда семена перед посевом обработаны ризоторфином, который повышает урожайность зерна сои на 2,0–3,5 ц/га, содержание белка при этом возрастает на 2–4 %.

При расчетах уровней урожайности зерновых бобовых культур необходимо учитывать, что для яровых культур $\Sigma Q_{\text{ФАР}}$ рассчитывается от момента появления всходов. Сумму осадков за вегетационный период рассчитывают от посева до уборки.

Исходные данные:

Посев гороха – 15 апреля, всходы культуры – 25 апреля, уборка – 01 июля.

Предшественник – яровая пшеница. Почва дерново-подзолистая, легкосуглинистая, подстилаемая моренным суглинком с глубины 0,8 м. Содержание гумуса – 2 %, P_2O_5 – 150 мг/кг, K_2O – 150 мг/кг, рН – 6,0, балл пашни – 30. Глубина залегания грунтовых вод 1,6 м. Мощность пахотного слоя 25 см, объемная масса почвы 1,2 г/см³.

Расчет урожайности.

Для расчета *потенциальной урожайности* примем $K_{\text{ФАР}} = 3$ %, $q = 4710$ ккал/кг, $\Sigma Q_{\text{ФАР}}$ – расчётное, исходя из прихода суммарной за вегетацию (согласно справочным изданиям) (табл. 13, лекция 4)

$$\Sigma Q_{\text{ФАР}} = \frac{5,3 \cdot 6}{30} + 7,2 + 8,1 = 16,4 \text{ ккал/см}^2$$

$$PU = \frac{\Sigma Q_{\text{ФАР}} \cdot K_{\text{ФАР}}}{10^4 \cdot q} = \frac{16,4 \cdot 10^8 \text{ ккал/га} \cdot 3 \%}{10^4 \cdot 4710 \text{ ккал/га}} = 104,5 \text{ ц/га}$$

Проведем пересчет найденной величины потенциальной биологической урожайности (ПУ) на стандартную влажность. Стандартная влажность хранения зерна гороха – 13 %

$$PU_{\text{Ст.вл}} = \frac{PU}{100 - \text{Вст}} \cdot 100 = \frac{104,5 \text{ ц/га}}{100 - 13 \%} \cdot 100 = 120,1 \text{ ц/га}$$

ПУ хозяйственно ценной части урожая (зерно) стандартной влажности. C – для гороха на зерно – 3,0

$$PU_{\text{Хоз}} = \frac{PU}{(100 - \text{Вст}) \cdot C} \cdot 100 = \frac{104,5 \text{ ц/га}}{(100 - 13 \%) \cdot 3} \cdot 100 = 40,0 \text{ ц/га}$$

Расчеты по уравнению Х. Г. Тооминга:

$$\begin{aligned} \text{ПУ}_{\text{хоз}} &= 10^4 \cdot K_{\text{фар}} \cdot K_{\text{м}} \cdot \frac{\sum Q_{\text{фар}}}{q} = \frac{10^4 \cdot 3\% \cdot 0,383 \cdot 16,4 \text{ ккал/см}^2}{4710 \text{ ккал/кг}} \\ &= 40,0 \text{ ц/га} \end{aligned}$$

$K_{\text{м}}$ – коэффициент хозяйственной эффективности урожая, равный у гороха на зерно 0,383

Проведем расчет климатически обеспеченной урожайности гороха (КОУ_w) двумя способами:

1 способ расчета

$W_{\text{год}} - 640$ мм (метеостанция г. Горки), $K_{\text{п.о.}} - 0,72$, $K_{\text{в}} - 350$.

$$\text{КОУ}_w = \frac{100 \cdot W_{\text{год}} \cdot K_{\text{п.о.}} \cdot 100}{K_{\text{в}} \cdot (100 - B_{\text{ст}}) \cdot C} = \frac{100 \cdot 640 \cdot 0,72 \cdot 100}{350 \cdot (100 - 13) \cdot 3} = 50,4 \text{ ц/га}$$

2 способ расчета

$W_{\text{м.с.}}$ – количество продуктивной влаги в метровом слое почвы на момент посева гороха – 220 мм (справочные данные), $O_{\text{в.п.}} = 6,5 + 15 + 17 + 18 + 19 + 22 + 24 + 27 = 148,5$ мм (расчётный показатель за период вегетации культуры с момента посева до уборки урожая), капиллярное подпитывание грунтовыми водами с глубины 1,6 м – $6 \text{ м}^3/\text{га}$ за сутки. Период от посева до уборки – 76 дней. $W_{\text{гр}} = 6 \text{ м}^3/\text{га} \cdot \text{сутки} / 76 \text{ дней} / 10 = 45,6$ мм

$$\begin{aligned} \text{КОУ}_w &= \frac{100 \cdot [W_{\text{м.с.}} + (O_{\text{в.п.}} \cdot K_{\text{п.о.}}) + W_{\text{гр.}}] \cdot 100}{K_{\text{в}} \times (100 - B_{\text{ст}}) \times C} \\ &= \frac{100 \cdot [220 \text{ мм} + (148,5 \text{ мм} \cdot 0,72) + 45,6] \cdot 100}{350 \cdot (100 - 13) \cdot 3} \\ &= 40,8 \text{ ц/га} \end{aligned}$$

$$\text{ГТП} = \frac{(W \cdot K_{\text{п.о.}}) \cdot T_v}{36 \cdot R} = \frac{640 \text{ мм} \cdot 0,72 \cdot 6,7 \text{ декад}}{36 \cdot 14,4 \text{ ккал/см}^2} = 5,96 \text{ балла}$$

T_v – продолжительность периода вегетации гороха – 6,7 декады (число декад активной вегетации – от всходов до уборки);

R – радиационный баланс за период вегетации гороха $R = 0,68 + 6,8 + 6,9 = 14,4 \text{ ккал/см}^2$ (табл. 14, лекция 4);

Исходя из того, что каждый балл ГТП равен приблизительно 20 ц абсолютно сухой биомассы, произведем расчет величины возможной климатически обеспеченной урожайности:

$$\text{КОУ}_{\text{ГТП}} = 22,0 \cdot \text{ГТП} - 10 = 22,0 \cdot 5,96 \text{ балла} - 10 = 121,1 \text{ ц/га}$$

где $\text{КОУ}_{\text{ГТП}}$ – урожайность абсолютно сухой биомассы, ц/га.

Урожайность абсолютно сухой биомассы пересчитывается на основную продукцию со стандартной влажностью по описанной ранее методике.

$$\text{КОУ}_{\text{ГТП хоз.}} = \frac{\text{КОУ}_{\text{ГТП}}}{(100 - \text{Вст}) \cdot \text{С}} \cdot 100 = \frac{121,1 \text{ ц/га}}{(100 - 13\%) \cdot 3} \cdot 100 = 46,4 \text{ ц/га}$$

Для определения ДВУ по косвенному показателю качественной оценки почвы используется формула

$$\text{ДВУ}_{\text{пот}} = \text{Б}_п \cdot \text{Ц}_{б.п} \cdot \text{К} = 30 \cdot 37 \cdot 0,96 = 1066 \text{ кг/га} = 10,7 \text{ ц/га}$$

где $\text{ДВУ}_{\text{пот}}$ – прогнозируемый действительно возможный урожай, обеспечиваемый потенциальным плодородием почвы, кг/га (ц/га);

$\text{Б}_п$ – балл бонитета почвы равен 30 (из исходных данных);

$\text{Ц}_{б.п}$ – цену балла пашни примем равным 37 килограммов продукции (для гороха);

К – поправочный коэффициент на агрохимические свойства – 0,96

Программируемую урожайность ($\text{У}_п$) для гороха на зерно рассчитываем по формуле:

$$\text{У}_п = \frac{\text{Б}_п \cdot \text{Ц}_{б.п} \cdot \text{К}}{100 - \text{П}_{уд}} \cdot 100 = \frac{30 \cdot 37 \cdot 0,96}{100 - 70} \cdot 100 = 3552 \text{ кг/га} = 35,5 \text{ ц/га}$$

где $\text{У}_п$ – урожайность, которая может быть получена не только за счет потенциального плодородия почвы, но и за счет вносимых удобрений, кг/га, ц/га, т/га;

$\text{П}_{уд}$ – прибавка урожая от удобрений, %. $\text{П}_{уд} - 70\%$

6.2. Расчеты доз удобрений под программируемый урожай гороха

При возделывании зерновых бобовых культур органические удобрения не вносят, поэтому при расчете доз минеральных удобрений под горох учитывать внесение органических удобрений не следует.

На корнях бобовых культур функционируют клубеньковые бактерии, фиксирующие атмосферный чистый азот из воздуха, поэтому рассчитывая дозы азотных удобрений необходимо исходить из того, что из почвы растение потребляет 30 % из воздуха – 70 % биологического азота. При нормальном развитии клубеньков потребность в минеральном азоте низкая (в исключительных случаях – стартовая доза 10–15 кг д.в./га). Избыток азота подавляет азотфиксацию.

Расчет доз минеральных удобрений *методом элементарного баланса* (табл. 19).

Таблица 19. – Расчет доз минеральных удобрений под горох методом элементарного баланса на урожай зерна 3,55 т/га

Буквенное обозначение	Показатель	Единица измерения	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	2	3	4	5	6
B	Вывос из почвы питательных веществ с 1 т зерна и соответствующим количеством соломы	кг	58,9	14,0	29,0
B ₀	Общий вынос питательных веществ, необходимых для получения запрограммированного урожая (B ₀ =B · У)	кг	209,1 – 70% = 62,7	49,7	103,0
П	Содержится в почве питательных веществ в подвижной форме (для N – % гумуса)	мг/кг почвы	2	150	150
П ₁	Содержится в пахотном горизонте (25 см) питательных веществ (P ₂ O ₅ и K ₂ O) в подвижной форме $P_1 = П \cdot Т \cdot М : 10$, где Т – мощность пахотного слоя, см; М – объемная масса, г/см ³ ; Т · М : 10 – масса пахотного слоя (25 см · 1,2 : 10 = 3) N – % гумуса · 22,5	кг/га	45	450	450
K _п	Коэффициент усвоения питательных веществ из почвы	%	100	8	12
I _п	Количество питательных веществ, которое будет получено растениями из почвы (I _п = П ₁ · K _п · 0,01)	кг/га	45	36	54

1	2	3	4	5	6
Д	Требуется внести питательных веществ с минеральными удобрениями ($D=B_0-I$)	кг/га	17,7	13,7	49
K_M	Коэффициент усвоения питательных веществ минеральных удобрений	%	70	20	60
D_M	Доза питательных веществ минеральных удобрений, которую необходимо внести с учетом коэффициента их использования ($D_M=D : K_M \cdot 100$)	кг/га	25,3	68,5	81,7
C_T	Содержится питательных веществ в туках*	%	46,2	46	60
M_y	Норма внесения минеральных удобрений ($M_y=D_M : C_T$)	ц/га	0,5	1,5	1,4

* Карбамид (содержание д. в. по ГОСТ 2081-92– 46,2%); суперфосфат двойной (содержание д. в. – 46 %); хлористый калий (содержание д. в. – 60 %)

Расчет доз удобрений под запланированный урожай с учетом коэффициента возврата питательных веществ в почву.

Норму внесения азотных удобрений:

$$D_N = \frac{B \cdot Y \cdot K_B}{100} - (H_0 T_0 + H_1 T_1) - K_n$$

Расчет доз азота. В нашем случае коэффициент возврата азота горохом с учетом V уровня урожайности (35,5 ц/га) составляет $K_B=20\%$.

$$D_N = \frac{5,89 \cdot 35,5 \text{ ц/га} \cdot 20}{100} - (0 \cdot 0 + 0) - 0 = 41,8 \text{ кг/га д. в.}$$

Необходимо отметить, что азотные удобрения, как правило под зернобобовые культуры не применяют. Однако в годы с прохладной затяжной весной, когда в почве процессы азотфиксации проходят при неблагоприятных условиях (дефиците влаги в почве и низких температурах), внесение стартовых доз азотных удобрений 25–35 кг/га дает положительный эффект.

Расчет доз фосфора по действующему веществу:

$$D_{P_2O_5} = \frac{B \cdot Y \cdot K_B \cdot K_{pH}}{100} - (H_0 T_0 + H_1 T_1)$$

K_{pH} – коэффициент корректировки доз P_2O_5 в зависимости от степени кислотности почв (при рН в КСІ менее 5,0 $K_{pH} = 1,2$; при рН 5,1–5,5 $K_{pH} = 1,1$). В нашем случае данный показатель равен 1.

$K_B = 140$ (справочные данные);

$$D_{P_2O_5} = \frac{1,4 \cdot 35,5 \text{ ц/га} \cdot 140 \cdot 1}{100} - (0 \cdot 0 + 0 \cdot 0) = 69,6 \text{ кг/га д. в.}$$

Расчет доз калия:

$$D_{K_2O} = \frac{B \cdot Y \cdot K_B \cdot K_{pH}}{100} - (H_0 T_0 + H_1 T_1)$$

$K_B = 110$ (справочные данные); K_{pH} – коэффициент корректировки доз K_2O в зависимости от степени кислотности почв (при рН в КСІ 5,6–6,0 $K_{pH} = 1,1$; более 6,0 $K_{pH} = 1,2$).

$$D_{K_2O} = \frac{2,9 \cdot 35,5 \text{ ц/га} \cdot 110 \cdot 1,1}{100} - (0 + 0) = 124,6 \text{ кг/га д. в.}$$

Горох в симбиозе с клубеньковыми микроорганизмами до 65–70 % азота, идущего на формирование урожая, усваивает из атмосферы. Поэтому потребность в азотных удобрениях у него по сравнению с другими культурами значительно ниже. Согласно рекомендациям сотрудников НПЦ НАН Беларуси по земледелию (Шора В. Ч., Крицкого В. Н., Гвоздовой Л. И.), азотные удобрения под горох в дозе 30–45 кг/га вносят весной под предпосевную культивацию на почвах с содержанием гумуса менее 1,8 %, а также при неблагоприятных условиях азотфиксации (дефиците влаги в почве и низких температурах).

Срок внесения фосфорных и калийных удобрений – осенью под зяблевую вспашку. На легких почвах, где это невозможно из-за опасности вымывания, калий необходимо вносить рано весной под первую культивацию.

6.3. Математические модели урожая зерна зерновых бобовых культур по элементам структуры

Биологическую урожайность семян **зернобобовых** культур можно рассчитать по формуле

$$Y = \frac{P \cdot B \cdot C \cdot M}{10\,000},$$

где B – количество бобов на растении, шт.;

C – количество семян в бобе, шт.;

M – масса 1 000 семян в урожае, г.

Биологическую урожайность семян зернобобовых культур можно

Из структурной формулы урожайности можно определить количество растений (P), которое необходимо иметь к уборке:

$$P = \frac{Y \cdot 10000}{B \cdot C \cdot M},$$

а затем рассчитать необходимую весовую норму высева по следующей формуле:

$$H_v = \frac{P \cdot M \cdot 100}{V_{об} \cdot ПГ},$$

ПГ – посевная годность семян, %;

$V_{об}$ – общая выживаемость, %.

$$V_{об(яр)} = \frac{V_{п} \cdot C_x}{100},$$

где $V_{об(яр)}$ – общая выживаемость яровых культур, %;

$V_{п}$ – полевая всхожесть, %;

C_x – сохраняемость всходов, %.

$$ПГ = \frac{V_{л} \cdot Ч}{100},$$

где ПГ – посевная годность, %;

$V_{л}$ – лабораторная всхожесть, %;

Ч – чистота семян, %.

Норма высева рассчитывается по формуле

$$H = \frac{K \cdot M \cdot 100}{ПГ},$$

где H – норма высева, кг/га;

K – коэффициент высева семян, млн/га

M – масса 1 000 семян, г;

ПГ – посевная годность семян, %.

Оптимальная модель посева основных зернобобовых культур представлена в табл. 20.

Таблица 20. Оптимальная модель посева зерновых бобовых культур

Культура	Кол-во растений на 1 м ² при уборке	Число ветвей	Число бобов на растении, шт.	Число семян в бобе, шт.	Масса 1000 семян, г	Потенциально возможный урожай зерна, т/га
Горох	80–120	1,5–2,0	4–6	4–6	200–300	4–6
Люпин белый	60–80	1,0–1,2	8–10	3–5	180–250	4–6
Соя	19–20	1,1–1,3	10–15	1–4	120–200	4–5
Фасоль обыкновенная	30–40	1,0–3,0	10–15	3–5	250–400	2–3

Лекция 7. Программирование урожайности картофеля

7.1. Особенности методики расчета урожая картофеля.

7.2. Расчеты доз удобрений под программируемый урожай.

7.3. Математические модели урожая картофеля по элементам структуры.

7.1. Особенности методики расчета урожая картофеля

Картофель может давать высокие урожаи на разных по генетическому типу и гранулометрическому составу почвах. Однако наивысшей урожайности можно достигнуть на торфяно-болотных, дерново-подзолистых почвах с оптимальными параметрами агрохимических свойств. Песчаные почвы, хотя и обеспечивают высокие вкусовые качества клубней, но прежде всего из-за неустойчивого водного режима непригодны для получения высоких урожаев картофеля. Тяжелосуглинистые почвы, особенно пересохшие, оказывают значительное механическое воздействие на формирующиеся клубни, сдерживая их рост и деформируя.

Клубни, сформировавшиеся при выращивании картофеля на торфяно-болотной почве, обладают повышенными урожайными свойствами.

Картофель относится к числу культур, переносящих повышенную кислотность почвы, однако хорошо реагирующих на ее снижение. Оп-

тимальной обменной кислотностью на супесчаных почвах является pH_{KCl} 5,0–6,0, на легко- и среднесуглинистых – 5,5–6,2. Снижение обменной кислотности до pH_{KCl} 6,5 при одновременном обеспечении растений элементами почвенного питания положительно сказывается на урожайности клубней.

Оптимальным для картофеля принимается содержание гумуса 3–4 %. Границы оптимального содержания гумуса также зависят от гранулометрического состава почвы. Для супесчаных почв этот показатель на 0,4–0,5 % ниже, чем для суглинистых.

Границы оптимальных параметров содержания подвижных форм фосфора и калия для картофеля следующие: дерново-подзолистые суглинистые почвы 260–300 мг и 200–250 мг на 1 кг почвы, супесчаные – 210–250 мг и 200–240 мг на 1 кг почвы, песчаные – 160–200 и 180–200 мг на 1 кг почвы.

Исходные данные:

Посадка картофеля – 05 мая, всходы культуры – 25 мая, уборка – 15 сентября.

Предшественник – яровой ячмень. Почва дерново-подзолистая, легкосуглинистая, подстилаемая моренным суглинком с глубины 0,8 м. Содержание гумуса – 2 %, P_2O_5 – 150 мг/кг, K_2O – 150 мг/кг, pH – 6,0, балл пашни – 30. Глубина залегания грунтовых вод 1,6 м. Под картофель вносилось 60 т/га навоза КРС. Мощность пахотного слоя 25 см, объемная масса почвы 1,2 г/см³.

Расчет урожайности.

Для расчета *потенциальной урожайности* примем $K_{фар} = 3$ %, $q = 4300$ ккал/кг, $\Sigma Q_{фар}$ – расчётное, исходя из прихода суммарной за вегетацию (согласно справочным изданиям) (табл. 13, лекция 4)

$$\Sigma Q_{фар} = \frac{7,2 \cdot 7}{31} + 8,1 + 7,7 + 6 + \frac{3,8 \cdot 15}{30} = 25,3 \text{ ккал/см}^2$$

$$ПУ = \frac{\Sigma Q_{фар} \cdot K_{фар}}{10^4 \cdot q} = \frac{25,3 \cdot 10^8 \text{ ккал/га} \cdot 3 \%}{10^4 \cdot 4300 \text{ ккал/га}} = 176,5 \text{ ц/га}$$

Проведем пересчет найденной величины потенциальной биологической урожайности (ПУ) на стандартную влажность. Стандартная влажность хранения клубней картофеля – 75 %

$$ПУ_{ст. вл} = \frac{ПУ}{100 - В_{ст}} \cdot 100 = \frac{176,5 \text{ ц/га}}{100 - 75 \%} \cdot 100 = 706 \text{ ц/га}$$

ПУ хозяйственно ценной части урожая (клубни) стандартной влажности. С – для картофеля – 1,8

$$ПУ_{\text{хоз}} = \frac{ПУ}{(100 - В_{\text{ст}}) \cdot С} \cdot 100 = \frac{176,5 \text{ ц/га}}{(100 - 75\%) \cdot 1,8} \cdot 100 = 392,2 \text{ ц/га}$$

Расчеты по уравнению Х. Г. Тооминга:

$$ПУ_{\text{хоз}} = 10^4 \cdot К_{\text{фар}} \cdot К_{\text{м}} \cdot \frac{\sum Q_{\text{фар}}}{q} = \frac{10^4 \cdot 3\% \cdot 2,350 \cdot 25,3 \text{ ккал/см}^2}{4300 \text{ ккал/кг}} = 414,8 \text{ ц/га}$$

K_m – коэффициент хозяйственной эффективности урожая, равный у картофеля 2,350

Проведем расчет климатически обеспеченной урожайности картофеля (KOU_w) двумя способами:

1 способ расчета

$W_{\text{год}} - 640$ мм (метеостанция г. Горки), $K_{\text{п.о.}} - 0,72$, $K_B - 110$

$$KOU_w = \frac{100 \cdot W_{\text{год}} \cdot K_{\text{п.о.}} \cdot 100}{K_B \cdot (100 - В_{\text{ст}}) \cdot С} = \frac{100 \cdot 640 \cdot 0,72 \cdot 100}{110 \cdot (100 - 75) \cdot 1,8} = 930,9 \text{ ц/га}$$

2 способ расчета

$W_{\text{м.с.}}$ – количество продуктивной влаги в метровом слое почвы на момент посадки картофеля – 198 мм (справочные данные), $O_{\text{в.п.}} = 8,5 + 18 + 19 + 22 + 24 + 27 + 28 + 29 + 30 + 30 + 29 + 26 + 21 + 9 = 320,5$ мм (расчётный показатель за период вегетации культуры с момента посадки до уборки урожая), капиллярное подпитывание грунтовыми водами с глубины 1,6 м – $6 \text{ м}^3/\text{га}$ за сутки. Период от посадки клубней до уборки урожая – 133 дня. $W_{\text{гр}} = 6 \text{ м}^3/\text{га} \cdot \text{сутки} \cdot 133 \text{ дня} / 10 = 79,8$ мм

$$\begin{aligned} KOU_w &= \frac{100 \cdot [W_{\text{м.с.}} + (O_{\text{в.п.}} \cdot K_{\text{п.о.}}) + W_{\text{гр.}}] \cdot 100}{K_B \times (100 - В_{\text{ст}}) \times С} \\ &= \frac{100 \cdot [198 \text{ мм} + (320,5 \text{ мм} \cdot 0,72) + 79,8] \cdot 100}{110 \cdot (100 - 75) \cdot 1,8} \\ &= 1027,4 \text{ ц/га} \end{aligned}$$

$$ГТП = \frac{(W \cdot K_{\text{п.о.}}) \cdot T_v}{36 \cdot R} = \frac{640 \text{ мм} \cdot 0,72 \cdot 11,4 \text{ декад}}{36 \cdot 25,6 \text{ ккал/см}^2} = 5,7 \text{ балла}$$

T_v – продолжительность периода вегетации картофеля – 11,4 декады (число декад активной вегетации – от появления всходов до уборки);

R – радиационный баланс за период вегетации картофеля $R = 5,7 + 6,9 + 6,7 + 4,8 + 1,45 = 25,6$ ккал/см² (табл. 14, лекция 4);

Исходя из того, что каждый балл ГТП равен приблизительно 20 ц абсолютно сухой биомассы, произведем расчет величины возможной климатически обеспеченной урожайности:

$$КОУ_{ГТП} = 22,0 \cdot ГТП - 10 = 22,0 \cdot 5,7 \text{ балла} - 10 = 115,4 \text{ ц/га}$$

где $КОУ_{ГТП}$ – урожайность абсолютно сухой биомассы, ц/га.

Урожайность абсолютно сухой биомассы пересчитывается на основную продукцию со стандартной влажностью по описанной ранее методике.

$$КОУ_{ГТП \text{ хоз.}} = \frac{КОУ_{ГТП}}{(100 - Вст) \cdot C} \cdot 100 = \frac{115,4 \text{ ц/га}}{(100 - 75\%) \cdot 1,8} \cdot 100 = 256,4 \text{ ц/га}$$

Для определения ДВУ по косвенному показателю качественной оценки почвы используется формула

$$ДВУ_{\text{пот}} = B_{\text{п}} \cdot Ц_{\text{б. п}} \cdot K = 30 \cdot 332 \cdot 0,96 = 9562 \text{ кг/га} = 95,6 \text{ ц/га}$$

где $ДВУ_{\text{пот}}$ – прогнозируемый действительно возможный урожай, обеспечиваемый потенциальным плодородием почвы, кг/га (ц/га);

$B_{\text{п}}$ – балл бонитета почвы равен 30 (из исходных данных);

$Ц_{\text{б. п}}$ – цену балла пашни примем равным 332 кг продукции (для картофеля);

K – поправочный коэффициент на агрохимические свойства – 0,96

Программируемую урожайность ($Y_{\text{п}}$) для картофеля рассчитываем по формуле:

$$Y_{\text{п}} = \frac{B_{\text{п}} \cdot Ц_{\text{б. п.}} \cdot K}{100 - П_{\text{уд}}} \cdot 100 = \frac{30 \cdot 332 \cdot 0,96}{100 - 70} \cdot 100 = 31872 \text{ кг/га} \\ = 318,7 \text{ ц/га}$$

где $Y_{\text{п}}$ – урожайность, которая может быть получена не только за счет потенциального плодородия почвы, но и за счет вносимых удобрений, кг/га, ц/га, т/га;

$П_{\text{уд}}$ – прибавка урожая от удобрений, %. $П_{\text{уд}} - 70\%$

Окончательное определение величины программируемой урожайности, основанное на сравнительной оценке результатов прогнозирования, полученных с использованием различных подходов, можно рассматривать как одну из форм метода экспертных оценок.

7.2. Расчеты доз удобрений под программируемый урожай картофеля

Основным условием эффективного возделывания картофеля является совместное применение органических и минеральных удобрений.

Расчет доз минеральных удобрений *методом элементарного баланса* (табл. 21.)

Таблица 21. Расчет доз минеральных удобрений под картофель методом элементарного баланса на урожай клубней 31,9 т/га

Буквенное обозначение	Показатель	Единица измерения	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	2	3	4	5	6
B	Вынос из почвы питательных веществ с 1 т клубней и соответствующим количеством ботвы	кг	5,4	1,6	10,7
B ₀	Общий вынос питательных веществ, необходимых для получения запрограммированного урожая (B ₀ =B · У)	кг	172,3	51,0	341,3
П	Содержится в почве питательных веществ в подвижной форме (для N – % гумуса)	мг/100г почвы	2	15	15
П ₁	Содержится в пахотном горизонте (25 см) питательных веществ (P ₂ O ₅ и K ₂ O) в подвижной форме $P_1 = П \cdot Т \cdot М : 10$, где Т – мощность пахотного слоя, см; М – объемная масса, г/см ³ ; Т · М:10 – масса пахотного слоя (25 см · 1,2:10 = 3) N – % гумуса · 22,5	кг/га	45	450	450
K _п	Коэффициент усвоения питательных веществ из почвы	%	100	9	18

Окончание табл. 21

1	2	3	4	5	6
I_n	Количество питательных веществ, которое будет получено растениями из почвы ($I_n = \Pi_1 \cdot K_n \cdot 0,01$)	кг/га	45	40,5	81,0
O	Внесено органических удобрений	т/га	60		
C_n	Содержание питательных веществ в навозе	%	0,5	0,25	0,6
H_n	Поступит в почву с навозом питательных веществ ($H_n = O \cdot C_n \cdot 10$)	кг/га	300	150	360
K_1	Коэффициент усвоения питательных веществ органических удобрений в год выращивания программируемого урожая	%	25	35	50
I_o	Будет использовано растениями питательных веществ из органических удобрений ($I_o = H_n \cdot K_1 \cdot 0,01$)	кг/га	75	52,5	180
I	Общее количество питательных веществ, которое могут получить растения из почвы и органических удобрений ($I = I_n + I_o$)	кг/га	120	93	261
D	Требуется внести питательных веществ с минеральными удобрениями ($D = B_o - I$)	кг/га	52,3	-42	80,3
K_m	Коэффициент усвоения питательных веществ минеральных удобрений	%	60	15	50
D_m	Доза питательных веществ минеральных удобрений, которую необходимо внести с учетом коэффициента их использования ($D_m = D : K_m \cdot 100$)	кг/га	87,2	–	160,6
C_T	Содержится питательных веществ в туках*	%	20,5 (+24S)	33(+8 N)**	48
M_y	Норма внесения минеральных удобрений ($M_y = D_m : C_T$)	ц/га	4,3	–	3,3

* Сульфат аммония (содержание д. в. – N:S – 20,5:24,0, %); аммонизированный суперфосфат (содержание д. в. N:P₂O₅ – 8,0:33,0 %); сульфат калия (содержание д. в. – 48 %)

** – поскольку комплексные составы удобрений содержат более одного элемента питания, потребуется внести корректировки в дозы внесения простых удобрений, чтобы избежать переизбытка элемента питания.

Расчет доз удобрений под запланированный урожай с учетом коэффициента возврата питательных веществ в почву.

Норму внесения азотных удобрений рассчитывают по формуле:

$$D_N = \frac{B \cdot Y \cdot K_B}{100} - (H_0 T_0 + H_1 T_1) - K_{\Pi}$$

Коэффициент возврата азота картофелем с учетом IV уровня урожайности (319 ц/га) составляет $K_B = 80\%$; $H_0 = 60$ т/га (по условию); $T_0 = 0,9$ кг (справочные данные); $K_{\Pi} = 0$

$$D_N = \frac{0,54 \cdot 319 \text{ ц/га} \cdot 80}{100} - (60 \cdot 0,90 + 0) - 0 = 83,8 \text{ кг/га д. в.}$$

Расчет доз фосфора:

$$D_{P_2O_5} = \frac{B \cdot Y \cdot K_B \cdot K_{pH}}{100} - (H_0 T_0 + H_1 T_1)$$

K_{pH} – коэффициент корректировки доз P_2O_5 в зависимости от степени кислотности почв (при pH в KCl менее 5,0 $K_{pH} = 1,2$; при pH 5,1–5,5 $K_{pH} = 1,1$). В нашем случае данный показатель равен 1. $K_B = 230$ (справочные данные); $H_0 = 60$ т/га (по условию); $T_0 = 0,5$ кг (справочные данные).

$$D_{P_2O_5} = \frac{0,16 \cdot 319 \text{ ц/га} \cdot 230 \cdot 1}{100} - (60 \cdot 0,5 + 0) = 87,4 \text{ кг/га д. в.}$$

Расчет доз калия:

$K_B = 50$ (справочные данные); $H_0 = 60$ т/га (по условию); $T_0 = 2,0$ кг (справочные данные); K_{pH} – коэффициент корректировки доз K_2O в зависимости от степени кислотности почв (при pH в KCl 5,6–6,0 $K_{pH} = 1,1$; более 6,0 $K_{pH} = 1,2$).

$$D_{K_2O} = \frac{B \cdot Y \cdot K_B \cdot K_{pH}}{100} - (H_0 T_0 + H_1 T_1)$$

$$D_{K_2O} = \frac{1,07 \cdot 319 \text{ ц/га} \cdot 50 \cdot 1,1}{100} - (60 \cdot 2 + 0) = 67,7 \text{ кг/га д. в.}$$

Отсутствие газообразных потерь азота, а так же потерь элемента от вымывания делает сульфат аммония идеальной формой азотных удобрений под культуру. Под картофель можно использовать все формы калийных удобрений, производимых в Республике Беларусь. На почвах связного гранулометрического состава хлорсодержащие калийные удобрения (хлористый калий, калийная соль, силвинит) рекомендуется вносить осенью под зябь, на легких супесчаных и песчаных почвах – весной, т.к. в этом случае удастся избежать значительных потерь калия от вымывания (до 15 кг/га в год). Применение сульфата калия по сравнению с хлористым калием способствует повышению содержания крахмала в клубнях на 0,5–0,6%. Однако широкое его использование ограничено высокой стоимостью.

6.3. Математические модели урожая картофеля по элементам структуры

Расчет густоты и нормы посадки клубней. Стандартная ширина междурядий при возделывании картофеля 70 см. Если при такой ширине междурядий подсчитать число клубней (кустов), размещенных на длине рядка 14,3 м, и полученное при подсчете число умножить на 1000, получим количество клубней (растений), приходящихся на 1 га.

Для определения весовой нормы посадки клубней устанавливают первоначально площадь питания растений, например, $70 \text{ см} \times 30 \text{ см} = 2100 \text{ см}^2$. Затем определяют возможное на одном гектаре число растений: $10\,000 \text{ м}^2 : 0,21 \text{ м}^2 = 47\,619$ шт. При посадке клубнями, средняя масса которых равна 60 г, необходимо выполнить следующий расчет: $60 \text{ г} \times 47\,619 \text{ шт.} = 2\,853\,142 \text{ г}$, или 2,85 т/га.

Основные элементы структуры урожайности картофеля:

- число растений на единице площади;
- число стеблей, приходящихся на один куст и на единицу площади поля;
- масса клубней одного растения;
- число клубней одного растения;
- средняя масса одного клубня;
- число и масса клубней по фракциям:
 - а) товарные, нетоварные клубни;
 - б) крупные (наименьший диаметр > 60 мм), средние (30–60 мм), мелкие клубни (< 30 мм);

в) клубни массой до 30 г, 30–50 г, 50–80 г, 80–100 г, >100 г;
 – выход той или иной фракции (чаще всего семенной или товарной)
 с гектара;

- средняя масса клубня каждой фракции;
- масса ботвы в период ее максимального развития.

Биологическую урожайность клубней картофеля можно определить по формуле

$$Y_6 = \frac{P \cdot [(K_{кр} \cdot B_{кр}) + (K_{ср} \cdot B_{ср}) + (K_{м} \cdot B_{м})]}{100},$$

где Y_6 – биологическая урожайность клубней, ц/га;

P – количество растений (кустов), шт/10 м²;

K – количество клубней (крупные, средние, мелкие), шт.;

B – масса одного клубня (крупного, среднего, мелкого), г;

100 – коэффициент перевода в центнеры на гектар.

Оптимальная модель посева основных зернобобовых культур представлена в табл. 22.

Таблица 22. Оптимальная модель посадки картофеля

Показатель	Значение
Густота стояния, тыс. продуктивных стеблей/га	180–240
Количество продуктивных стеблей на куст, шт.	3,5–6,8
Количество кустов к уборке, тыс. шт./га	53–65
Число клубней под кустом, шт.	6–15
Масса клубней с куста, г.	300–800
Вес одного клубня, г	100–150
Потенциально возможный урожай клубней, т/га	60–70

Лекция 8. Программирование урожайности семян озимого рапса

8.1. Особенности методики расчета урожайности озимого рапса.

8.2. Расчеты доз удобрений под программируемый урожай.

8.3. Математические модели урожая рапса по элементам структуры.

8.1. Особенности методики расчета урожайности озимого рапса

Озимый рапс хорошо растет на плодородных структурных и влагоемких почвах с глубоким пахотным горизонтом. Лучшие почвы в условиях Беларуси – дерново-карбонатные; дерново-подзолистые лег-

ко- и среднесуглинистые; супесчаные, подстилаемые моренным суглинком. На легких песчаных почвах можно получить хорошую урожайность в условиях достаточной увлажненности и обеспечения элементами питания. Озимый рапс не выращивают на торфяных почвах с неустойчивым водным и тепловым режимом и опасностью вымерзания. непригодны для рапса почвы кислые, заболоченные, с близким залеганием грунтовых вод.

Рекомендуемые агрохимические показатели почвы для озимого рапса: pH_{KCl} 6,0–6,5 на связных почвах и 5,8–6,0 на легких почвах; содержание гумуса – не ниже 1,8 %, подвижных форм фосфора и калия – не менее 150 мг/кг почвы.

Лучшими почвами для *ярового рапса* в условиях Беларуси являются дерново-подзолистые суглинистые и супесчаные, подстилаемые моренным суглинком. На супесчаных почвах, подстилаемых песками, можно получать хорошие урожаи в условиях достаточной влагообеспеченности. Песчаные почвы, подстилаемые песками, быстро теряют влагу и для возделывания ярового рапса малопригодны. Яровой рапс можно выращивать на торфяных мелиорированных землях.

Оптимальные агрохимические показатели почв для возделывания ярового рапса: содержание гумуса – не менее 2 %; наличие подвижных форм фосфора и калия – не ниже 150 мг/кг; показатель pH_{KCl} – 5,8 – 6,5.

Исходные данные:

Посев озимого рапса – 20 августа, всходы культуры – 30 августа, уход в зиму – 16 октября, возобновление весенней вегетации (ВВВ) – 10 апреля, уборка – 20 июля.

Предшественник – озимый ячмень. Почва дерново-подзолистая, легкосуглинистая, подстилаяемая моренным суглинком с глубины 0,8 м. Содержание гумуса – 2 %, P_2O_5 – 150 мг/кг, K_2O – 150 мг/кг, pH – 6,0, балл пашни – 30. Глубина залегания грунтовых вод 1,6 м. Мощность пахотного слоя 25 см, объемная масса почвы 1,2 г/см³.

Расчет урожайности.

Для расчета *потенциальной урожайности* примем $K_{фар} = 3$ %, $q = 4880$ ккал/кг, $\Sigma Q_{фар}$ – расчётное, исходя из прихода суммарной за вегетацию (согласно справочным изданиям) (табл. 12, лекция 4)

$$\Sigma Q_{фар} = \frac{5,3 \cdot 20}{30} + 7,2 + 8,1 + \frac{7,7 \cdot 20}{31} = 23,8 \text{ ккал/см}^2$$

$$ПУ = \frac{\sum Q_{\text{фар}} \cdot K_{\text{фар}}}{10^4 \cdot q} = \frac{23,8 \cdot 10^8 \text{ ккал/га} \cdot 3\%}{10^4 \cdot 4880 \text{ ккал/га}} = 146,3 \text{ ц/га}$$

Для пересчета найденной величины потенциальной биологической урожайности (ПУ) на стандартную влажность (у озимого рапса – 12 %) используют уравнение

$$ПУ_{\text{ст.вл}} = \frac{ПУ}{100 - \text{Вст}} \cdot 100 = \frac{146,3 \text{ ц/га}}{100 - 12\%} \cdot 100 = 166,3 \text{ ц/га}$$

ПУ хозяйственно ценной части урожая (семян) стандартной влажности. С – для рапса – 4,0

$$ПУ_{\text{хоз}} = \frac{ПУ}{(100 - \text{Вст}) \cdot C} \cdot 100 = \frac{146,3 \text{ ц/га}}{(100 - 12\%) \cdot 4,0} \cdot 100 = 41,6 \text{ ц/га}$$

Расчеты по уравнению Х. Г. Тооминга:

$$\begin{aligned} ПУ_{\text{хоз}} &= 10^4 \cdot K_{\text{фар}} \cdot K_{\text{м}} \cdot \frac{\sum Q_{\text{фар}}}{q} = \frac{10^4 \cdot 3\% \cdot 0,284 \cdot 23,8 \text{ ккал/см}^2}{4880 \text{ ккал/кг}} \\ &= 41,6 \text{ ц/га} \end{aligned}$$

$K_{\text{м}}$ – коэффициент хозяйственной эффективности урожая, равный у рапса 0,2584

Проведем расчет климатически обеспеченной урожайности рапса:

1 способ расчета

$W_{\text{год}} - 640$ мм (метеостанция г. Горки), $K_{\text{п.о.}} - 0,72$, $K_{\text{в}} - 400$

$$КОУ_w = \frac{100 \cdot W_{\text{год}} \cdot K_{\text{п.о.}} \cdot 100}{K_{\text{в}} \cdot (100 - \text{Вст}) \cdot C} = \frac{100 \cdot 640 \cdot 0,72 \cdot 100}{400 \cdot (100 - 12) \cdot 4,0} = 32,7 \text{ ц/га}$$

2 способ расчета

$W_{\text{м.с.}}$ – количество продуктивной влаги в метровом слое почвы период ВВВ озимого рапса – 227 мм (справочные данные), $O_{\text{в.п.}} = 13+15+17+18+19+22+24+27+28+29 = 212$ мм (расчётное из таблиц), капиллярное подпитывание грунтовыми водами с глубины 1,6 м – 6 м³/га за сутки. Период от возобновления вегетации до уборки – 101 день. $W_{\text{гр}} = 6 \text{ м}^3/\text{га} \cdot \text{сутки} \cdot 102 \text{ дня}/10 = 61,2 \text{ мм}$

$$\begin{aligned} \text{КОУ}_w &= \frac{100 \cdot [W_{\text{м.с.}} + (O_{\text{в.п.}} \cdot K_{\text{п.о.}}) + W_{\text{гр.}}] \cdot 100}{K_{\text{в}} \times (100 - B_{\text{ст}}) \times C} \\ &= \frac{100 \cdot [227 \text{ мм} + (212 \text{ мм} \cdot 0,72) + 61,2 \text{ мм}] \cdot 100}{400 \cdot (100 - 12) \cdot 4} \\ &= 31,3 \text{ ц/га} \end{aligned}$$

$$\text{ГТП} = \frac{(W \cdot K_{\text{п.о.}}) \cdot T_v}{36 \cdot R} = \frac{640 \text{ мм} \cdot 0,72 \cdot 15,0 \text{ декад}}{36 \cdot 24,6 \text{ ккал/см}^2} = 7,8 \text{ балла}$$

$T_v = 15$ декад (число декад активной вегетации – от появления всходов до ухода в зиму + от ВВВ до уборки); $R = 24,6 \text{ ккал/см}^2$ (табл. 13, лекция 4);

Исходя из того, что каждый балл ГТП равен приблизительно 20 ц абсолютно сухой биомассы, произведем расчет величины возможной климатически обеспеченной урожайности:

$$\text{КОУ}_{\text{ГТП}} = 22,0 \cdot \text{ГТП} - 10 = 22,0 \cdot 7,8 \text{ балла} - 10 = 161,6 \text{ ц/га}$$

где $\text{КОУ}_{\text{ГТП}}$ – урожайность абсолютно сухой биомассы, ц/га.

Урожайность абсолютно сухой биомассы пересчитывается на основную продукцию со стандартной влажностью по описанной ранее методике.

$$\text{КОУ}_{\text{ГТП хоз.}} = \frac{\text{КОУ}_{\text{ГТП}}}{(100 - B_{\text{ст}}) \cdot C} \cdot 100 = \frac{161,6 \text{ ц/га}}{(100 - 12\%) \cdot 4} \cdot 100 = 45,9 \text{ ц/га}$$

Для определения ДВУ по косвенному показателю качественной оценки почвы используется формула

$$\text{ДВУ}_{\text{пот}} = B_{\text{п}} \cdot Ц_{\text{б.п}} \cdot K = 30 \cdot 25 \cdot 0,96 = 720 \text{ кг/га} = 7,2 \text{ ц/га}$$

где $\text{ДВУ}_{\text{пот}}$ – прогнозируемый действительно возможный урожай, обеспечиваемый потенциальным плодородием почвы, кг/га (ц/га);

$B_{\text{п}}$ – балл бонитета почвы равен 30 (из исходных данных);

$Ц_{\text{б.п}}$ – цена балла пашни для семян рапса – 25 кг продукции;

K – поправочный коэффициент на агрохимические свойства – 0,96

Программируемую урожайность ($Y_{\text{п}}$) для рапса рассчитываем по формуле:

$$Y_{\text{п}} = \frac{B_{\text{п}} \cdot Ц_{\text{б.п.}} \cdot K}{100 - П_{\text{уд}}} \cdot 100 = \frac{30 \cdot 25 \cdot 0,96}{100 - 70} \cdot 100 = 2400 \text{ кг/га} = 24,0 \text{ ц/га}$$

где Y_n – урожайность, которая может быть получена не только за счет потенциального плодородия почвы, но и за счет вносимых удобрений, кг/га, ц/га, т/га;

$P_{вд}$ – прибавка урожая от удобрений, %. $P_{вд} - 70\%$

Окончательное определение величины программируемой урожайности, основанное на сравнительной оценке результатов прогнозирования, полученных с использованием различных подходов, можно рассматривать как одну из форм метода экспертных оценок.

8.2. Расчеты доз удобрений под программируемый урожай семян рапса

Расчет доз минеральных удобрений *методом элементарного баланса* представлен в табл. 23.

Таблица 23. Расчет доз минеральных удобрений под рапс методом элементарного баланса на урожай семян 2,4 т/га

Буквенное обозначение	Показатель	Единица измерения	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	2	3	4	5	6
В	Вынос из почвы питательных веществ с 1 т семян и соответствующим количеством соломы	кг	58	29	26
В ₀	Общий вынос питательных веществ, необходимых для получения запрограммированного урожая ($V_0 = V \cdot Y$)	кг	139,2	69,6	62,4
П	Содержится в почве питательных веществ в подвижной форме (для N – % гумуса)	мг/кг почвы	2	150	150
П ₁	Содержится в пахотном горизонте (25 см) питательных веществ (P ₂ O ₅ и K ₂ O) в подвижной форме $P_1 = P \cdot T \cdot M : 10$, где T – мощность пахотного слоя, см; M – объемная масса, г/см ³ ; T · M:10 – масса пахотного слоя. (25 см · 1,2:10 = 3) N – % гумуса · 22,5	кг/га	45	450	450

1	2	3	4	5	6
K_n	Коэффициент усвоения питательных веществ из почвы	%	100	9	9
I_n	Количество питательных веществ, которое будет получено растениями из почвы ($I_n = \Pi_1 \cdot K_n \cdot 0,01$)	кг/га	45	40,5	40,5
D	Требуется внести питательных веществ с минеральными удобрениями ($D = B_0 - I$)	кг/га	94,2	29,1	21,9
K_m	Коэффициент усвоения питательных веществ минеральных удобрений	%	70	20	60
D_m	Доза питательных веществ минеральных удобрений, которую необходимо внести с учетом коэффициента их использования ($D_m = D : K_m \cdot 100$)	кг/га	134,6	145,5	36,5
C_t	Содержится питательных веществ в туках*	%	46,2	33(+8 N)**	60
M_y	Норма внесения минеральных удобрений ($M_y = D_m : C_t$)	ц/га	2,9	4,4	0,6

* Карбамид (содержание д. в. по ГОСТ 2081-92– 46,2%); аммонизированный суперфосфат (содержание д. в. $N:P_2O_5 - 8,0:33,0$ %); хлористый калий (содержание д. в. – 60 %)

** – поскольку комплексные составы удобрений содержат более одного элемента питания, потребуется внести корректировки в дозы внесения простых удобрений, чтобы избежать переизбытка элемента питания.

Расчет доз удобрений под запланированный урожай с учетом коэффициента возврата питательных веществ в почву.

Норму внесения азотных удобрений рассчитывают по формуле:

$$D_N = \frac{B \cdot U \cdot K_B}{100} - (H_0 T_0 + H_1 T_1) - K_n$$

Расчет доз азота. В нашем случае коэффициент возврата азота рапсом с учетом V уровня урожайности (24,0 ц/га) составляет $K_B = 110$ %; $K_n = 0$

$$D_N = \frac{5,8 \cdot 24 \text{ ц/га} \cdot 110}{100} - (0 + 0) - 0 = 153,1 \text{ кг/га д. в.}$$

Расчет доз фосфора:

$$D_{P_2O_5} = \frac{B \cdot Y \cdot K_B \cdot K_{pH}}{100} - (H_0 T_0 + H_1 T_1)$$

K_{pH} – коэффициент корректировки доз P_2O_5 в зависимости от степени кислотности почв (при рН в КСl менее 5,0 $K_{pH} = 1,2$; при рН 5,1–5,5 $K_{pH} = 1,1$). В нашем случае данный показатель равен 1.

$K_B = 140$ (справочные данные).

$$D_{P_2O_5} = \frac{2,9 \cdot 24 \text{ ц/га} \cdot 140 \cdot 1}{100} - (0 + 0) = 97,4 \text{ кг/га д. в.}$$

Расчет доз калия:

$$D_{K_2O} = \frac{B \cdot Y \cdot K_B \cdot K_{pH}}{100} - (H_0 T_0 + H_1 T_1)$$

$K_B = 145$ (справочные данные); K_{pH} – коэффициент корректировки доз K_2O в зависимости от степени кислотности почв (при рН в КСl 5,6–6,0 $K_{pH} = 1,1$; более 6,0 $K_{pH} = 1,2$).

$$D_{K_2O} = \frac{2,6 \cdot 24 \text{ ц/га} \cdot 145 \cdot 1,1}{100} - (0 + 0) = 99,5 \text{ кг/га д. в.}$$

Азотные удобрения вносят в подкормки озимого рапса. Первую подкормку азотом в дозе $N_{110-120}$ проводят во время возобновления весенней вегетации. Лучшими формами азотных удобрений являются сульфат аммония, КАС, карбамид и аммиачная селитра. В годы с ранней весной в первую подкормку следует вносить 40–60 кг/га азота, а остальную дозу внести в фазе бутонизации. В этом случае возврат весенних заморозков не окажет губительного действия на растения рапса. Также следует учесть, что в первую очередь следует подкармливать ослабленные посевы и посевы, расположенные на легких почвах.

В случае использования сульфата аммония необходимо обратить особое внимание на содержание серы в почве. Так, данное удобрение целесообразно использовать на почвах с низким содержанием обменной серы (менее 6,0 мг/кг почвы). На почвах с более высоким ее содержанием внесение сульфата аммония может приводить к повышению содержания глюкозинолатов в маслосеменах. При подкормках рекомендуется использовать 2–3 ц/га сульфата аммония.

Вторую подкормку азотом проводят в фазе стеблевания через 2,0–2,5 недели после первой карбамидом, аммиачной селитрой, КАС.

При внесении КАС доза азота не должна превышать 30 кг/га. КАС необходимо разбавить водой в соотношении 1:3. При этом в раствор можно ввести микроэлементы и инсектициды. Подкормку проводить в утреннее или вечернее время. Не следует проводить вторую подкормку сульфатом аммония, так как могут наблюдаться ожоги растений.

При недостаточном внесении азота в первые две подкормки можно провести и третью – спустя 1–1,5 недели в фазе бутонизации до начала цветения. В этом случае используют 5–10%-ный раствор карбамида, КАС. При слабом развитии растений или при густоте стояния растений менее 40 шт/м² дозу азота следует повысить на 20–40 кг/га.

Полную дозу фосфорных и калийных удобрений лучше вносить после уборки предшественника под основную обработку почвы с соблюдением приемов, направленных против переуплотнения почвы.

Из фосфоросодержащих удобрений применяются аммофос, аммонизированный суперфосфат, из калийных – хлористый калий.

8.3. Математические модели урожая семян рапса по элементам структуры

В фазе восковой спелости семян, когда сформированы все элементы структуры урожая, можно подсчитать биологическую урожайность (У, ц/га) рапса по формуле

$$Y = \frac{P \cdot C_T \cdot C \cdot M}{10\,000},$$

где У – урожайность, ц/га;

Р – количество растений, шт/м²;

С_Т – количество стручков на растении, шт.;

С – количество семян в стручке, шт.;

М – масса 1000 семян в урожае, г.

Из структурной формулы урожайности можно определить количество растений (Р), которое необходимо иметь к уборке:

$$P = \frac{Y \cdot 10\,000}{C_T \cdot C \cdot M},$$

а затем рассчитать необходимую весовую норму высева по следующей формуле:

$$H_B = \frac{P \cdot M \cdot 100}{V_{об} \cdot ПГ},$$

где ПГ – посевная годность семян, %;

$V_{об}$ – общая выживаемость, %.

Общая выживаемость для озимых культур рассчитывается по формуле:

$$V_{об(оз)} = \frac{V_{п} \cdot П_з \cdot C_x}{10000},$$

где $V_{об(оз)}$ – общая выживаемость озимых культур, %;

$V_{п}$ – полевая всхожесть, %;

$П_з$ – перезимовка, %;

C_x – сохраняемость перезимовавших растений, %.

$$ПГ = \frac{V_{л} \cdot Ч}{100},$$

где ПГ – посевная годность, %;

$V_{л}$ – лабораторная всхожесть, %;

$Ч$ – чистота семян, %.

Формирование элементов структуры урожая носит динамичный характер, т. е. каждый из них закладывается и развивается на разных этапах роста и развития растения. Количество растений на единице площади определяют норма высева и полевая всхожесть.

Норма высева рассчитывается по формуле

$$H = \frac{K \cdot A \cdot 100}{ПГ},$$

где H – норма высева, кг/га;

K – коэффициент высева семян, млн/га

A – масса 1 000 семян, г;

$ПГ$ – посевная годность семян, %.

Оптимальная модель посева рапса, возделываемого на семена представлена в табл. 24.

Таблица 24. **Оптимальная модель посева рапса**

Культура	Количество растений к уборке, шт/ м ²	Число продуктивных ветвей на растении, шт	Число стручков на растении, шт	Число семян в стручке	Масса 1000 семян, г	Потенциально возможный урожай семян, т/га
Рапс озимый						
сорт	40–70	4–6	100–150	15–25	3,8–4,5	3–4
гибрид	35–45	4–6	120–160	20–30	4,5–5,5	4–5

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арова, О. З. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур : учебное пособие для обучающихся по направлению подготовки 35.03.04 Агрономия / О. З. Арова, Л. А. Шевхужева. – Черкесск : БиЦ СКГА, 2023г. – 172 с.
2. Изменения климата и их последствия: научное издание / В.Ф. Логинов, Г.И. Сачок, В.И. Мельник и др.; Под общ.ред. В.Ф.Логинова: Инт-т пробл. использования природ. ресурсов и экологии НАН Беларуси. – Минск : ОДО «Тонпик», 2003. – 330 с.
3. Каюмов М. К. Программирование продуктивности полевых культур : справочник / М. К. Каюмов – М. : Росагропромиздат. 2-е изд., 1989. – 389 с.
4. Можаяев Н. И. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур / Н. И. Можаяев, Н. А. Серикапаев, Г. Ж. Стыбаев / Учебное пособие. – Астана: Фолиант, 2013. – 50 с.
5. Агеев В. В. Основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур : учеб. пособие / В. В. Агеев, А. Н. Есаулко, Ю. И. Гречишкина и др. – Ставрополь : АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2014. – 200 с.
6. Основы программирования урожайности полевых культур и их сортовой агротехники. Краткий курс лекций для аспирантов направления подготовки 35.06.01 «Сельское хозяйство» профиля подготовки – Растениеводство / В.Б. Нарушев // ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» – Саратов, 2014. – 34 с.
7. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур : учеб. –метод. пособие / Д. И. Мельничук [и др.]; под ред. Д. И. Мельничука. – Горки : БГСХА, 2016. – 176 с.
8. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур : учебно-методическое пособие / Д. И. Мельничук [и др.]; под ред. Д. И. Мельничука. – Горки : БГСХА, 2016. – 176 с.
9. Программирование урожая (постановка и обоснование проблемы) Труды, том XXXVI / А.А. Климов, Г.Е. Листопад, Г.П. Устенко, под общ. ред. А.А. Климова. – Волгоград, 1971. – 574 с.
10. Ульянов В. С. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур: метод. Рекомендации / В. С. Ульянов, Т. В. Князева. – Краснодар : КубГАУ, 2017. – 50 с.