

**КУРС ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ»**

**СОДЕРЖАНИЕ**

	стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	2
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ. ПРИНЦИПЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ. ФАКТОРЫ ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ НАУЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И РАСТЕНИЕВОДСТВА.....	5
2. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ БЕЛАРУСИ.....	64
3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ И МЕТОДИКА ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ.....	88
3.1 Программирование урожайности озимых зерновых культур.....	94
3.2 Программирование урожайности зерна кукурузы.....	105
3.3 Программирование урожайности зерновых бобовых культур.....	106
3.4 Программирование урожайности картофеля.....	106
3.5 Программирование урожайности семян озимого рапса.....	106
3.6 Программирование урожайности сахарной свеклы.....	107
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	107

## ВВЕДЕНИЕ

Растение представляет собой сложный живой организм с определенными закономерностями роста, развития, накопления органического вещества, взаимоотношениями в посевах 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. Около 90–95 % тела растительного организма создается за счет углекислого газа. Солнечная энергия не только накапливается и запасается растениями, но также используется на фотосинтез, транспирацию и другие физиологические процессы.

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. Например, при выращивании зерновых культур на плодородных почвах с достаточной влагообеспеченностью растения в изреженных посевах будут энергично куститься. И наоборот, при тех же условиях, но в загущенных посевах, ощутив недостаток света, растения начнут «сбрасывать» внешние боковые побеги. В загущенных посевах растения формируют более мелкие листья, чем в изреженных. Таким образом, осуществляется саморегуляция формирования площади ассимиляционной листовой поверхности. Близкое между собой количество продуктивных стеблей на единице площади может быть достигнуто как за счет высокого коэффициента кущения, так и за счет повышенной нормы высева.

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 определенный интервал, в границах которого действие фактора равнозначно. Например, семена ячменя для набухания и прорастания должны поглотить 48–57 % воды от воздушно-сухой массы зерновки. Оптимальная температура для роста пшеницы – +16–20 °С, ржи – +20–24 °С. Поэтому, располагая информацией о потенциальных возможностях растений и о конкретных параметрах экологических факторов, под влиянием которых формируется урожай, осуществив прогностические расчеты, разработав и своевременно выполнив всю технологию возделывания, можно получить запрограммированный урожай, величина которого научно predetermined заблаговременно.

*Программирование урожая* – 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). Растения, аккумулируя из окружающей среды необходимые факторы жизни формируют урожай. 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 адекватно выше реализуется генетический потенциал культуры. Метод программирования урожаев предполагает учитывать не разрозненное, а комплексное, взаимосвязанное и взаимозависимое влияние на организм растения факторов жизни. *Сущность метода выращивания запрограммированных урожаев* заключается в оптимизации условий произрастания сельскохозяйственных культур.

Количественные параметры потребности растений в факторах жизни (тепле, влаге, элементах питания и др.) необходимые для создания единицы урожая неодинаковы. Компенсация недостающей потребности в том или ином факторе жизни растений приемами агротехники - основа формирования высоких запрограммированных урожаев.

Прогнозирование возможной урожайности сельскохозяйственных культур для конкретных почвенно-климатических условий, а также разработка и реализация на практике технологии возделывания культуры, в наибольшей степени отвечающей ее биологическим особенностям, являются главными *составляющими метода программирования урожаев*.

Посев любой сельскохозяйственной культуры можно рассматривать как некоторую агробιологическую систему, состоящую из взаимодействующих между собой элементов. Эту систему составляют растения и окружающая их среда. Включая потоки солнечной радиации, почву и приземный воздух с атмосферными осадками, животные, микроорганизмы и др.

В такой системе элементы крайне разнородны по своей природе и функциям. Часть из них является физическими (свет, тепло, гранулометрический состав почв и др.). другие – химическими (макро- и микроэлементы почвенного и воздушного питания растений), третьи – биологическими и т.д. Так что

система содержит смешанные элементы.. Ещё более сложный тип представляет система «человек – растение». В такой системе человек компенсирует отсутствие у растений недостающих свойств самоорганизации. В ней человек задаёт цель управления и общие условия ее достижения.

Рассматривая посев как агробиологическую систему, для её исследования удобно ввести два известных понятия:

- 1) возмущающих или воздействующих факторов и
- 2) следствий – ответные реакции или эффекты. Первые обычно именуют «входом», а вторые «выходом».

Для посева, как системы, характерны переходные и установившиеся режимы. Если на «входе» системы (в условиях внешней среды) происходят какие-либо изменения (изменения температуры воздуха, влажности воздуха, содержание химических элементов питания и др.), то «выход» системы перестраивается не сразу, а в течение некоторого промежутка времени (переходной период) после чего система переходит в новое состояние. Если же учитывать, что процессы роста и развития растений непрерывно происходят, то фактически любой посев как система в течение всего вегетационного периода находится в «переходном» режиме.

Оптимальное программированное возделывание сельскохозяйственных культур относится ко второму типу, когда заданы «выходная» величина (урожай), законы поведения системы (посева) и его свойства, а требуется определить и практически осуществлять «входные» (воздействующие) факторы, т.е. решать обратную задачу первого рода.

То обстоятельство, что различные факторы имеют неодинаковую значимость, позволяет не учитывать многие из них. И это значительно упрощает рассмотрение таких систем.

Урожай – это интегральная величина, которая зависит как от биологических особенностей культуры, сорта, так и обеспеченности растений всеми факторами жизни. Потому программирование урожайности сельскохозяйственных культур является комплексной дисциплиной, которая опирается на знания в области растениеводства, земледелия, физиологии растений, почвоведения, агрохимии, метеорологии, агрофизики, математики, экономики, статистики и др.

Высокий уровень квалификации специалистов, четкая организация труда, применение современных технологий возделывания сельскохозяйственных культур – залог реализации на практике метода программирования урожая.

Программирование урожайности является важнейшей составляющей ее повышения и увеличения валового производства сельскохозяйственных культур, укрепления продовольственной безопасности республики, придания отраслям АПК устойчивого развития.

## 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ. ПРИНЦИПЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ. ФАКТОРЫ ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ НАУЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И РАСТЕНИЕВОДСТВА

*Определение понятий урожай, урожайность, программирование урожайности.*

**Урожай** – валовая продукция, выращенная на поле.

**Урожайность** – это урожай, отнесенный к единице площади поля.

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.

Системный подход, составляющий основу метода программирования урожаев, отражает десять принципов, сформулированных академиком И. С. Шатиловым.

И.С. Шатилов (1970) 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 том, чтобы определить биогидротермический показатель продуктивности фитомассы по приходу радиации, продуктивной влаги, сумме температур и продолжительности периода вегетации для конкретной географической зоны или даже на различных полях хозяйства. Гидротермический показатель – совокупность двух метеофакторов – теплового и влажностного, которые определяют размеры и качество урожая.

**Второй принцип программирования** урожаев заключается в том, что его уровень определяется по коэффициенту использования растением фотосинтетически активной радиации (ФАР). Каждый килограмм сухой органической массы в среднем аккумулирует 4 тысячи ккал (с небольшим различием по видам). Зная приход ФАР за период вегетации, можно поставить задачу усвоения (накопления) культурными растениями, например, 2 или 3% ФАР, а на основе этого показателя определить потенциальную урожайность культуры (сорта). А. А. Ничипорович разделил посеvy 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 связи с чем возникает необходимость применительно к различным почвенно-климатическим зонам планеты, разработать приемы и методы агротехники, вывести сорта, которые при высокой агротехнике обеспечивали бы использовали не 2-3%, как в настоящее время, а 4-5% ФАР, приходящейся на единицу поверхности за весь период вегетации,

разработать агроприемы, обеспечивающих усвоение посевами 3% и даже 5% ФАР за период со средне суточными температурами выше 10°C. Для получения высоких урожаев также необходимо оптимизированная, дольное внесение различных видов удобрений с учетом особенностей роста и развития растений, оптимизировать следует также условия водоснабжения. Экспериментально подтверждено, что использование вышеотмеченных условий позволяет обеспечивать усвоение посевом заданного количества ФАР и получение запланированного урожая.

**Третий принцип программирования урожаев** – определение потенциальных возможностей культуры или сорта применительно к условиям, где предполагается возделывать культуру или сорт. Данные получают непосредственного экспериментальным путем. Можно также использовать характеристики сорта по результатам сортоиспытания.

**Четвертый принцип программирования урожаев** заключается в том, чтобы на поле, занятом растениями, сформировать такой фотосинтетический потенциал (ФП), который будет способен обеспечить запрограммированный уровень урожайности.

**Пятый принцип программирования урожаев** состоит в необходимости правильно применять законы земледелия и растениеводства. Урожайность – величина интегральная. Она обуславливается как биологическими особенностями, так и условиями выращивания культуры. При программировании урожаев необходимо руководствоваться следующими основными законами земледелия и растениеводства:

1) **Закон равнозначности, или незаменимости, факторов.** Для нормальной жизнедеятельности растений исключение какого-либо даже незначительного фактора не может быть ничем компенсировано.

2) **Закон ограничивающего фактора, или закон минимума.** Любые дополнительные затраты в земледелии без учета фактора находящегося в минимуме, не могут дать должного эффекта. Закон минимума определяет систему земледелия, способы обработки почвы, проведение работ по мелиорации земель и т. д.

3) **Закон возврата.** Для поддержания плодородия почвы в нее необходимо вносить питательные элементы, потребляемые растением на создание урожая. Правильно определенные дозы дополнительно вносимых удобрений способствуют повышению плодородия почвы.

4) **Закон оптимума, или закон совокупного действия факторов.** Наивысшую продуктивность растений обеспечивает только оптимальное соотношение ряда факторов, различных в каждой зоне. С учетом конкретных

условий необходимо планировать системы удобрений, сроки сева, нормы высева семян и т. д.

5) **Закон плодосмена.** При прочих равных условиях урожаи более высоки в севообороте, чем при повторных посевах или монокультуре. Но при этом необходимо учитывать, что эффективность плодосмена различных культур неодинакова.

6) **Закон критического периода полевых культур по отношению к фосфору.** Если культура в начале развития перенесла фосфорное голодание, то высокий урожай зерна даже при хорошей обеспеченности фосфором в последующий период сформироваться не может.

7) **Закон физиологических часов.** В зависимости от долготы дня и интенсивности освещения, растения ускоряют или замедляют свое развитие. У растений короткого дня период вегетации в условиях длинного дня удлиняется, а у растений длинного дня, наоборот, сокращается.

8) **Закон регуляторной системы растений.** Наивысший урожай можно получить лишь в том случае, если условия среды соответствуют требованиям растений, т. е. характеру внутренних процессов, обусловленных генотипом. Районирование культур построено на учете наличия у растений регуляторной системы. Успехи современной физиологии растений позволяют надеяться, что такие приемы, как поливы и подкормки, будут проводиться по сигналам, поступающим от растений.

**Шестой принцип программирования урожаев** состоит в том, что бы разработать систему 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. Количество же питательных веществ в почве в каждом поле хозяйства определяет агрохимическая служба.

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** – разработка комплекса агротехнических приемов исходя из специфических требований культуры и сорта.

Во многих странах мира ученые разных специальностей разрабатывают модели растений, способных аккумулировать 5 процентов и более приходящей фотосинтетически активной радиации. Для реализации потенциальных возможностей новых сортов необходимо знать их биологические и физиологические особенности и на основе этого строить агротехнику.

**Восьмой принцип программирования урожаев** заключается в том, чтобы в орошаемом земледелии обеспечивать потребность растений в воде 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 том, чтобы обеспечить выращивание здоровых растений исключив отрицательное влияние на их рост и урожайность болезней и вредителей.

**Десятый принцип программирования урожаев** предусматривает использование математического аппарата для определения оптимального варианта комплекса агроприемов, выполнение которого обеспечит получение планируемого урожая.

*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 сформулировать новые принципы программирования урожаев: физиологические, биологические, агрохимические, агрофизические, агрометеорологические, агротехнические.

**Физиологические принципы программирования урожаев** 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* – показатель, определяющий норму высева, сроки сева, систему удобрения, водный режим, уход за посевами. В каждом конкретном случае  $1000 \text{ м}^2/\text{га}$  · дней – обеспечивают соответствующее количество продукции (зерна, сухой биомассы, зеленой массы, сена, клубней картофеля и др.) Например, при выращивании кукурузы каждая тысяча единиц фотосинтетического потенциала обеспечивает сбор 3–3,5 кг зерна. Для получения 100 ц/га зерна кукурузы при достаточном влагообеспечении необходим фотосинтетический потенциал, равный  $3\text{--}3,5 \text{ (млн м}^2/\text{га)} \cdot \text{дней}$ .

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.

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 (ФАР) с увеличением площади листьев, например, втрое 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, гребневые посадки картофеля, тепловые мелиорации (систематическое снегозадержание, мульчирование поверхности) и др.

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

Для повышения окупаемости единицы удобрений следует выбирать такие технологии внесения, которые обеспечивают использование в них не менее 85–90 % азота, 40–45 % фосфора и 90–95 % калия. Это локальное, ленточное, прикорневое и другие способы внесения.

**Агрофизические принципы программирования урожаев** предусматривают оптимизацию физических и физико-химических свойств почв (объемная масса, удельное сопротивление, 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/см<sup>3</sup> появляются на 5–6 дней позднее, чем на почвах, где этот показатель равен 1,1–1,2 г/см<sup>3</sup>. Уплотнение почвы до 1,57–1,6 г/см<sup>3</sup> приводит к полному загниванию высаженных клубней, которые не дают всходы.

Почвы с низким содержанием гумуса слабо аккумулируют солнечную энергию и обладают невысокой теплоемкостью. Теплопроводность таких почв – повышенная, 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. В опытах И.В. Мосолова при оптимальной

влажности 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 и 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 культур.

При использовании методов программирования урожаев необходимо учитывать информацию служб гидрологии и агрометеорологии.

**Агротехнические принципы программирования урожаев.** На все факторы жизни растений невозможно воздействовать, однако их можно в некоторой степени оптимизировать с помощью агротехники. Агротехнические принципы заключаются в разработке и внедрении оптимальных технологий возделывания, 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 – с учетом складывающихся погодных условий и материально-технических ресурсов хозяйства сформировать посевы, которые будут обеспечивать наивысшую урожайность 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.

*Регулируемые и нерегулируемые факторы. Жестко константные, условно константные и переменные факторы.*

Для нормального функционирования агроценозов полевых культур необходимо четыре основных жизненно важных фактора – свет, тепло, влага и питательные вещества. Каждый фактор имеет свои экологические оптимумы и пределы, позволяющие той или иной культуре проявить свою продуктивность, или, влияя отрицательно, снижает урожай до такого уровня, при котором еще возможно сельскохозяйственное производство.

Сельскохозяйственные растения произрастают в непрерывно изменяющихся условиях внешней среды - суточные и сезонные колебания освещенности, температуры, влажности почвы и воздуха, а также колебания плодородия почвы и др. На огромной территории Беларуси выращиваемые растения попадают в разные почвенно-климатические условия, которые необходимо обязательно использовать для построения высокоэффективной агротехники сельскохозяйственных культур.

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

**Таблица 1. – Условное разделение факторов среды**

Нерегулируемые	Частично регулируемые	Регулируемые
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 Гранулометрический состав почвы	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	Культура Сорт Засоренность посева Поражение растений болезнями Повреждение вредителями Обеспеченность элементами питания: азотом фосфором калием микроэлементами рН почвы (известкование, гипсование) Аэрация почвы (основная, предпосевная обработка, уход)

Из-за нерегулируемых факторов – важнейших показателей агроклиматических ресурсов, потенциал продуктивности пашни в Беларуси в средней по стране составляет 31,2 балла; в Западной Европе, Северной Америке от 30–60 до 60–80 баллов.

Таблица 2. – Нерегулируемые факторы

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

Частично регулируемые факторы - 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.

Например, недостаточная освещенность не может быть заменена повышенной температурой, избыток калия не компенсирует недостаток фосфора. Это закон *физиологической равнозначности и незаменимости факторов*. Как следствие этого закона, рост, развитие растений, урожай и его качество ограничиваются фактором, находящимся в минимуме. Иногда это следствие интерпретируют как самостоятельный закон — *закон минимума*. Из закона равнозначности и незаменимости факторов вытекает еще одно очень важное следствие — все физиологические процессы в растении будут идти активно, генотип может реализовать свою потенциальную продуктивность, если параметры каждого фактора среды будут оптимальными.

Избыток каждого фактора так же вреден, как и его недостаток. Например, избыток воды приводит к снижению аэрации почвы, и кислород становится ограничивающим фактором; избыток двухвалентного кальция выступает антагонистом катиона калия даже при повышенном содержании этого элемента в почве. Это следствие закона равнозначности и незаменимости факторов иногда формулируют как самостоятельный закон — *закон оптимума*.

## **Комплексы климатических и агрометеорологических факторов, определяющих продуктивность агроценозов:**

*Солнечная радиация, свет, Фотосинтетически активная радиация (ФАР).* Их количественные характеристики. Роль и значение в формировании урожая. Факторы, ограничивающие фотосинтез. Посев как саморегулирующаяся фотосинтезирующая система. Использование солнечной радиации фитоценозами. Фотосинтез, площадь листьев, фотосинтетический потенциал агроценозов, чистая продуктивность фотосинтеза.

Лучистая энергия солнца является космическим фактором, на который мы не можем влиять. 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 разнообразной частоты и длины.

Длина электромагнитных волн, достигающих земли, находится в пределах от 295 до 5000 нм (нанометров).

Лучистая энергия имеет двойственную (волновую и корпускулярную) природу. Она излучается и распространяется не непрерывно, а в виде отдельных неделимых порций-квантов или фотонов. Фотон – это состояние материи, основной особенностью которой является движение со скоростью 299800 км/с. Вне движения со скоростью света фотон не существует и не обладает массой покоя, как другие материальные частицы, но обладает массой движения.

Следовательно, светопоток – это особое состояние материи. Излучающее тело теряет на радиацию часть своей энергии и массы, и материя приобретает свойство потока фотонов, обладающего также свойствами электромагнитных волн. По сравнению с ничтожно малыми величинами массы, размеры энергии фотонов огромны. Величина кванта тем больше, чем больше частота или чем меньше длина волны.

Всякий фотохимический процесс, согласно закону Гроттгуса, совершается лишь под воздействием лучей, которые поглощаются реагирующей системой. (*закон Гротгуса, первый закон фотохимии: химическую реакцию в веществе может вызвать только поглощённая часть падающего на него света*). Действие поглощённых молекулами квантов лучистой энергии бывает различным. Они могут вызывать увеличение скорости вращательного движения (ротационная энергия), вибрацию ядер молекулы (вибрационная энергия), повышать энергетический уровень валентных электронов, подвергая молекулы ионизации (электронная энергия).

Доля ротационной и вибрационной энергии по отношению к электронной энергии сравнительно невелика. Квантовые уровни изменения вибрационной энергии обычно соответствуют размерам квантов длинноволновых инфракрасных лучей и определяют в основном тепловой режим листа.

Более велика электронная энергия молекулы и диапазоны возможных изменений её энергетических уровней. Эти изменения могут соответствовать энергии квантов лучей видимого света или более коротковолновых лучей с более крупными квантами.

Таким образом, поглощенный фотон или квант света, прежде всего, сильно повышает энергетический уровень электронной энергии молекулы по сравнению с окружающими молекулами и переводит молекулу в возбужденное состояние. Поэтому возбужденная молекула неустойчива и стремится отдать энергию возбуждения на ту или иную работу или другим молекулы и материальные частицы, она становится химически активной, может вызвать фотохимическую реакцию.

Поглотив квант энергии молекула не обязательно подвергается фотохимическим превращениям. Она может передать энергию возбуждения, дезактивироваться и возвратиться к исходному энергетическому состоянию. Если фотохимическая реакция не осуществится, единственным видимым результатом поглощения энергии будет тепловой эффект – нагревание, поглощающего свет тела и распределение превращенной энергии в тепло среди многих молекул окружающих тел.

Необходимым условием для накопления энергии в теле должно быть наличие химических превращений, вызванных поглощением квантов энергии.

Все эти явления наблюдаются и при поглощении света зелёными растениями.

Фотохимический акт происходит лишь в том случае, если энергия поглощенного кванта не меньше энергии, необходимой для преодоления энерге-

тического барьера реакции. Отсюда следует, что коротковолновые лучи, фотохимически наиболее активны, поскольку они могут вызвать реакции в энергетическом отношении наиболее трудные.

Однако нет основания подразделять лучи на безусловно фотохимически активные и неактивные.

Согласно закону Эйнштейна, для каждого элементарного фотохимического акта необходимо поглощение каждой реагирующей молекулой одного кванта.

Коротковолновые лучи, несущие более крупные кванты, могут вызвать такие трудные в энергетическом отношении реакции, ход которых не может быть обеспечен малыми квантами длинноволновых лучей. В этом отношении коротковолновые лучи более активны.

Но если реакция, с энергетической точки зрения, может пройти и в лучах с большей длиной волны и с малыми квантами, то каждая калория этих лучей, как несущая большее число квантов, может вызвать реакцию большего числа молекул и превращение большего количества вещества в молярном исчислении.

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.

***Рассеяние солнечной лучистой энергии в атмосфере.*** 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.

Если рассеивающие частицы меньше длины волны падающей лучистой энергии, то согласно закону Релея, рассеяние происходит обратно пропорционально четвертой степени длины волны.

$$J = B \times \frac{1}{\lambda^4}$$

$J$  – интенсивность рассеивания;

$\lambda$  – длина волны;

$B$  – некоторая постоянная, зависящая от размеров рассеивающих частиц.

Отсюда следует, что с уменьшением длины волны рассеяние значительно увеличивается, что видно из таблицы 3.

Таблица 3. – 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.

Рассеивание строго по закону Релея происходит только для частиц с диаметром меньше 0,35 нм. Если диаметр частиц в пределах 0,35–0,42 нм, то рассеяние происходит обратно пропорционально третьей степени длины волны. Более крупные частицы дадут рассеяние обратно пропорционально второй степени. Для частиц диаметром больше 1,2 нм все лучи рассеиваются одинаково и спектральный состав рассеянной радиации получается такой же, как и падающей. Поэтому при запыленной атмосфере цвет неба становится белесоватым.

**Поглощение солнечной радиации.** 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 0° 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 витацидным (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 проницаем для лучистой энергии солнца и мало проницаем для земного излучения в области 12–17 нм. Благодаря этому наличие углекислого газа в воздухе оказывает отепляющее 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, доходящих 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 теплы землею путем излучения.

Наличие пыли в атмосфере способствует конденсации водяных паров, а, следовательно, и образованию облаков и туманов.

Помимо космической (около 100 тонн в сутки) и вулканической пыли, наибольшим источником запыления атмосферы особенно в нижних слоях является пыль земного происхождения: мелкие обломки горных пород, поверхности почвы, мелкие остатки растительных и животных организмов, споры растений, поднимаемые в атмосферу восходящими течениями и вихрями, солевая пыль, в результате испарения капель воды, а также дым фабрик, заводов.

*Водяной пар* атмосферы играет наиболее важную роль в поглощении солнечной радиации. Большая часть полос поглощения водяного пара сосредоточена в инфракрасной области спектра. Водяные пары поглощают целиком поглощают лучистую энергию от 5,5 до 7 нм; 8-12 нм пропускают; затем с увеличением длины волны поглощение увеличивается и далее 20 нм поглощают полностью. Кроме этого, имеются спектры поглощения в более коротких волнах, главные из которых 0,94; 1,13; 1,47; 1,84 нм. 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.

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

Поглощение водяными парами атмосферы солнечной радиации имеет особое значение для дальнейшего рассмотрения вопроса о радиационном режиме листьев и посевов.

**Оптические свойства листьев.** 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 сине-фиолетовых (400-500 нм) и красных (670 нм) и минимально в области зеленых лучей (550 нм).

Поглощение инфракрасных – не превышает 5-6%.

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 %.

Для фотосинтеза растения используют только видимые лучи с длиной волн 400–800 нм, получившие название фотосинтетически активной радиации

(ФАР). Фотосинтетически активная радиация от общей лучистой (интегральной) радиации солнца составляет 45–50 %.

Однако растения для фотосинтеза могут использовать далеко не все количество приходящей фотосинтетически активной радиации. В полевых условиях при высоком уровне агротехники и благоприятном сочетании погодных условий современные сорта и гибриды способны аккумулировать до 5 % ФАР. Отмечены случаи более высокого КПД ФАР.

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.

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 ветовой поток, а фотосинтетически активную радиацию (ФАР) – фотосинтетически активные лучи с длиной волны 400-700 нм (нанометров). 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.

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

*Использование солнечной радиации фитоценозами.* Фотосинтез, площадь листьев, фотосинтетический потенциал агроценозов, чистая продуктивность фотосинтеза.

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 как отдельного растения, так и в расчете на единицу площади поля. 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. м<sup>2</sup>/га, а при избыточном увлажнении и азотном питании она может увеличиваться до 60-70 тыс. м<sup>2</sup>/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 (ФАР), 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. Температурные условия, необходимые для прорастания семян, появления всходов, роста и развития растений. Тепловой минимум, оптимум, максимум. Сумма температур. Климатообразующая роль тепла. Роль тепла в формировании микроклимата. Температурный режим почв.*

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 органы растения и корни, хотя физически связаны между собой и физиологически коррелируют друг с другом, тем не менее филогенетически, физиологически, морфологически и т.д. различны, обитают в различных средах, вследствие чего имеют свою биологическую индивидуальность,

выраженную в различных требованиях к условиям внешней среды для оптимального функционирования.

На большом экспериментальном материале Радченко С.И. показал, 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°, а иногда на 10-12°, 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.

Многочисленными опытами установлено, что у многих зерновых культур (овес, яровая и озимая пшеница и др.) наиболее мощная корневая система развивается при температуре почвы 12-16°. 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°), наоборот, почечки появляются на поверхности почвы прежде, чем начинается заметное развитие корней.

По данным Носатовского (219), корни пшеницы, выросшие при температуре 20°, сильно разветвлены, очень тонки и имеют белый цвет. Дальнейшее повышение температуры при выращивании пшеницы увеличивает ветвление, а при температуре 40° корни приобретают вид войлочных комков. Причем, повышение температуры почвы от 20 до 40° 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. Отсюда становится ясным важное значение ранневесенних азотных подкормок растений. При опти-

мальном сочетании условий освещения, питания, увлажнения и др. температура играет решающую роль в процессе дифференцировки конуса нарастания пшеницы. Низкая температура (ниже 15°) 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.

Как известно, изменение температуры не оказывает заметное влияние на скорость фотохимических реакций, в то время как биохимические ферментативные или темновые реакции фотосинтеза очень чувствительны к изменению температурного режима.

При низких интенсивностях света фотохимические реакции фотосинтеза дают незначительное количество первичных продуктов, значительно меньше того, что могла бы переработать ферментативная система. Поэтому в данном случае изменение температуры почти не оказывает действия на интенсивность фотосинтеза.

При высоких же интенсивностях света фотохимическая система способна дать так много продуктов, что общая интенсивность фотосинтеза будет уже зависеть от интенсивности работы ферментов. Поэтому отчетливое влияние температуры на фотосинтез сказывается при высоких интенсивностях света.

По некоторым данным фотосинтез может совершаться даже при отрицательных температурах или при положительных температурах, близких к 0 С, но интенсивность фотосинтеза в этом случае лежит много ниже компенсационного пункта.

Наличие высокой интенсивности фотосинтеза (12,7- 21,8 мг CO<sub>2</sub> дм<sup>3</sup>/час) у озимой пшеницы при температуре 3,5-4,0°С установлено в работе Оканенко и Починок (22S). У яровой пшеницы и сахарной свеклы при таких же температурах интенсивность фотосинтеза равнялась 3-4 мг CO<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> час и

часто падала ниже компенсационного пункта. Здесь явно сказываются наследственные свойства растений и способность их приспособляться к температурным условиям внешней среды. С повышением температуры интенсивность фотосинтеза возрастает.

Значительное количество работ посвящено определению максимальной температуры, при которой лист еще работает и возможно накопление органических веществ. Крейслер, Маттеи, Лундегорд и другие исследователи установили, что ход интенсивности фотосинтеза в зависимости от температуры может быть изображен одновершинной кривой, максимум которой находится около 35-37°C, а затем наступает резкое падение и при температуре около 55° фотосинтез приостанавливается.

Такие одновершинные кривые фотосинтеза являются характерными для тепличных растений, приспособленных к сравнительно постоянным температурным условиям. В естественной же обстановке растения приспособляются к широкому диапазону изменения температур и поэтому максимальная интенсивность фотосинтеза может сохраняться неизменной в довольно широких пределах температур.

Температурные кривые фотосинтеза для многих сельскохозяйственных культур, как это показано в опытах Чеснокова (346), характеризуются широкой областью оптимума. Например, у тыквы высокая интенсивность фотосинтеза порядка 90-100 мг  $CO_2/D^{M^A}$  час встречается, начиная с 20 до 38, у овса - с 23 до 35°, а у бобов, -начиная с 13°.

У листьев, появившихся позже и развивавшихся в условиях высоких температур, фотосинтез, как правило, выше, чем в нижних листьях, и у сахарной свеклы не прекращается даже при температуре воздуха 45°.

Существует в настоящее время обширная литература о связи и других процессов жизнедеятельности растений с условиями окружающей среды.

Рассмотренные нами примеры некоторых особенностей развития растений показывают, как важно знать потребности каждого сорта растений и закономерности изменения условий внешней среды для того, чтобы найти оптимальное сочетание их и наилучшим образом синхронизировать изменение внутренних потребностей растений с изменениями условий внешней среды.

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

На основании детального анализа и сравнительной оценки предложен-

ных показателей Шашко Д.И., сделал вывод, что для агроклиматической характеристики территории по теплообеспеченности преимущество имеет способ сумм активных температур при исключении из них низких и высоких температур, тормозящих развитие растений, и введении необходимых поправок.

Активные температуры положительно действуют на все жизненные процессы растительных организмов. Для большинства возделываемых в Европейской части Союза культур ими являются температуры выше 5-10°. Сумма температур выше 10° 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 состояются 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° имеет следующий вид:

$$\sum t_{\text{БК}} > 10^0 = \sum t_{\text{Б}} + P_{\text{К}} + P_{\text{Ш}} + P_{\text{М}} + P_{\text{К}} + 200 (250,300)$$

$\sum t_{\text{БК}} > 10^0$  – сумма биоклиматических температур выше 10°;

$\sum t_{\text{Б}}$  - сумма биологических температур;

$P_{\text{К}}$  - разность сумм температур в пределах лимитов температур развития растений и за период с температурой выше 10°;

$P_{\text{Ш}}$  - поправка на широту местности,

$P_{\text{М}}$  - поправка на микроклиматические особенности местоположения,

$P_{\text{К}}$  - поправка на континентальность,

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

Величины климатических разностей ( $P_k$ ) для некоторых культур приведены в таблице 1.

Величина  $\Pi_m$  на микроклиматические особенности местности определяется преимущественно морозоопасностью местоположений.

**Таблица 4. –Климатические разности между суммами температур выше 10° и в пределах лимитных температур**

Культура	Лимитные температуры, градусы		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

По исследованиям Шашко Д.И. поправку на микроклиматические особенности местности можно в среднем принять для северных широт (55-65°) - 100-200°, для средних широт (45-55°) - 200-300° и для горных мест южных широт - 300-400° (знак плюс для относительно холодных и минус для теплых местоположений). Более, точно расчеты можно сделать, пользуясь агроклиматическими справочниками.

Для мест с очень континентальным и резко континентальным климатом, к которым относятся восточные районы страны, Казахстан и республики Средней Азии, обязательна поправка на континентальность. Она минусовая, то есть уменьшает биоклиматическую сумму и колеблется в зависимости от продолжительности вегетационного периода культуры в пределах 100-200° и более.

В таблице 5 сельскохозяйственные культуры отнесены к различным группам скороспелости. По сортовым различиям скороспелости культуры сведены в три или пять групп. По признаку общей скороспелости культуры умеренного пояса сведены в семь групп: P0 - очень ранние (1200°), P - ранние (1200- 1600°), Ср - среднеранние (1600-2200), С - средние (2200-2500°), Sp - среднепоздние (2500-3400°), П - поздние (3400-4000°) и П0 - очень поздние культуры теплого пояса (4000°).

**Таблица 5. – Требования сельскохозяйственных культур к сумме биологических температур за период вегетации**

Культуры	Сорта	Период вегетации	Минимум биологических температур воздуха, °С		Поправка на 1° широты, °С	Сумма биологических температур для 55° северной широты, °С
			Начало роста	Начало созревания		
1	2	3	4	5	6	7
Пшеница яровая (мягкая)	Раннеспелые	Посев – восковая спелость	5	10	-20	1400
	Среднеспелые		5	10	-20	1500
	Позднеспелые		5	10	-25	1700
Пшеница яровая (твердая)	Среднеранние		5	12	-15	1500
	Среднеспелые		5	12	-20	1600
	Позднеспелые		5	12	-20	1700
Ячмень	Раннеспелые	5	10	-20	1250	
	Среднеспелые	5	10	-15	1350	
	Позднеспелые	5	10	-15	1450	
Овес	Раннеспелые	5	10	-20	1250	
	Среднеспелые	5	10	-20	1450	
	Позднеспелые	5	10	-20	1550	
Рожь озимая	Раннеспелые	Посев – выбрасывание метелки	5	10	-30	1300
	Среднеспелые		5	10	-30	1350
	Позднеспелые		15	10	-30	1400
Пшеница озимая	Раннеспелые		5	10	-25	1400
	Среднеспелые		5	10	-25	1450
	Позднеспелые		5	10	-25	1500
Кукуруза	Раннеспелые	Посев – выбрасывание метелки	10	10	0	1200
		Посев – молочная спелость	10	10	0	1800
		Посев – созревание	10	10	0	2200
	Среднеспелые	Посев – выбрасывание метелки	10	10	0	1400
		Посев – молочная спелость	10	10	0	1200
		Посев – созревание	10	10	0	2500
	Среднепоздние	Посев – выбрасывание метелки	10	10	0	1500
		Посев – молочная спелость	10	10	0	2200

		Посев – созревание	10	10	0	2700
Гречиха	Раннеспелые	Посев – восковая спелость	7	10	0	1200
	Среднеспелые		7	10	0	1300
	Позднеспелые		7	10	0	1400
Просо	Раннеспелые	Посев – восковая спелость	10	10	+15	1570
	Среднеспелые		10	10	+15	1675
	Позднеспелые		10	10	+15	1875
Сорго	Раннеспелые	Посев – восковая спелость	12	12	+10	2400
	Среднеспелые		12	12	+10	2500
	Позднеспелые		12	12	+10	2900
Горох	Раннеспелые	Посев – созревание	5	10	-10	1250
	Среднеспелые	То же	5	10	-6	1400
	Позднеспелые	»	5	10	-6	1550
Бобы	Раннеспелые	»	7	10	0	1400
Чечевица	Раннеспелые	»	5	10	-10	1400
	Среднеспелые	»	5	10	-6	1500
Фасоль	Раннеспелые	»	12	12	0	1500
	Среднеспелые	»	12	12	0	1700
	Позднеспелые	»	12	12	0	1900
Соя	Ультроранние	»	10	10	+ 8	2140
	Раннеспелые	»	10	10	-8	2340
	Среднеспелые	»	10	10	+12	2560
	Позднеспелые	»	10	10	+12	3060
Чина	Раннеспелые	»	5	10	-6	1600
	Среднеспелые	»	5	10	-6	1700
Нут	Раннеспелые	»	6	12	0	1400
	Среднеспелые	»	6	12	0	1500
	Позднеспелые	»	6	12	0	1600
Люпин	Раннеспелые	»	6	12	- 12	1400
	Среднеспелые	»	6	12	- 12	1700
	Позднеспелые	»	6	12	- 10	2100
Картофель	Раннеспелые	Посадка – увядание ботвы	10	10	-	1200
	Среднеспелые	То же	10	10	-	1500
	Позднеспелые	»	10	10	-	1800
Подсолнеч- ник	Раннеспелые	Посев – созревание	8	10	0	1850
	Среднеспелые	То же	8	10	0	2000
	Позднеспелые	»	8	10	0	2300
Лен маслич- ный	Раннеспелые	»	7	10	-6	1450
	Среднеспелые	»	7	10	-6	1550
Лен-долгунец	Раннеспелые	Посев – полная спелость	7	10	-6	1400
		На во- локно	7	10	-6	1000
	Среднеспелые	Посев – полная спелость	7	10	-6	1500
		На во- локно	7	10	-6	1100
Конопля	Среднеспелые	Посев –	3	10	+ 6	1830

		полная спелость				
		На волок- но	3	10	+ 6	1230
	Позднеспелые	Посев – полная спелость	3	10	+ 12	2810
		На волок- но	3	10	+12	1820

Пользуясь суммами климатических и биоклиматических температур, потребных для произрастания растений (таблица 20), можно приблизительно определить вероятность созревания или достижения культурой определенной фазы развития в данном месте.

Для этого устанавливается разность между суммами температур, потребных для растений, и суммами климатических температур, а также соответствующий этой разности процент обеспеченности по кривым (рис. 37). Например, требуется определить в местах прохождения изолинии 1300° вероятность достижения огурцами (сорт, Муромские) фазы посев- промежуточный сбор. Для достижения этой фазы требуется сумма температур за период 15-10° не менее 1100°, а за период 10-10-1200°. Отклонение суммы 1200° от суммы температур климатических ресурсов 1300° составляет - 100° (1200-1300). Этому отклонению по кривой обеспеченности типа 2 соответствует вероятность достижения указанной фазы развития 70%, то есть фаза наступит за 10 лет примерно 7 раз.

Важной характеристикой особенностей климата является, кроме сумм температур, продолжительность основного периода вегетации с температурой выше 10° (22 и 23). Территория с продолжительностью периода менее 90 дней с температурой выше 10° соответствует преимущественно холодному поясу или поясу культур закрытого грунта. Территория с продолжительностью этого периода 90-120 дней соответствует подпоясу ранних культур умеренного пояса, где ведущие культуры - серые хлеба. На территории с продолжительностью периода 120-150 дней в составе культур значительно увеличивается удельный вес пшеницы. В полосе с продолжительностью периода 150-180 дней создаются благоприятные температурные условия для возделывания культур со сравнительно повышенными требованиями к теплу - кукурузы на зерно, сахарной свеклы (полное созревание), риса, сои, подсолнечника на семена и др.

В полосе с продолжительностью периода более 180 дней создаются благоприятные температурные условия для позднеспелых сортов кукурузы, риса и других требовательных к теплу культур.

Из всего вышеизложенного следует, что температурный режим и теплообеспеченность растений являются одними из важнейших условий внешней

среды, обеспечивающих нормальное функционирование любого агрофитоценоза и от оптимизации которых зависит урожай.

Ресурсы влаги и влагообеспеченность сельскохозяйственных растений. Продуктивность агрофитоценозов в зависимости от теплообеспеченности и увлажненности почв.

*Степень соответствия количественных показателей почвенно-климатических факторов жизни растений (в различных регионах Беларуси) биологическим требованиям соответствующих видов растений.*

## **Вода и ее значение в 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 растении 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°C. 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.

Поскольку эта гидратация молекул представляет собой химический процесс, обусловленный силами дополнительной валентности полярных молекул, она называется хемогидратацией.

Свойства связанной в процессе хемогидратации воды существенно изменяются. Она обладает меньшей упругостью пара, меньшей растворяющей способностью, меньшей диэлектрической постоянной, меньшей сжимаемостью, большей плотностью и труднее вымораживается.

Согласно современным представлениям, молекулы воды в протоплазме могут находиться в двух состояниях: часть их составляет каркас (решетку), определяющий структуру воды (ее "решетчатую упорядоченность"), 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. Поэтому воду называют "матрицей жизни".

Биологическая система имеет целостную структуру с тесным взаимодействием структуры макромолекул и воды. Благодаря такому взаимодействию возникшее в каком-либо месте системы нарушение вызывает распространяющуюся волну нарушений или перестройки структуры, что имеет принципиально важное значение для понимания клетки как саморегулирующейся кибернетической системы.

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).

Результаты исследований показывают, что большая часть воды, в некоторых случаях очевидно вся вода в растительной клетке, является в той или иной мере связанной и резкой границы между связанной и свободной водой не существует.

Различают следующую классификацию фракций состояния воды в растении:

- 1) прочносвязанная, к которой относится большая часть воды, удерживаемой при хемогидратации ионов и молекул низко- и высокополимерных соединений;

2) слабо - связанная - вода диффузионных слоев гидратационных сфер, молекулы которой сохранили подвижность, а также вода структурно связанная и осмотически поглощенная,

3) свободная - капиллярно всосанная 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 против неблагоприятных условий 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.

Однако имеются данные, указывающие, что некоторое понижение активности воды путем связывания ее коллоидами клетки благоприятствует ходу фотосинтеза.

Динамическая характеристика состояния воды в растении позволяет разграничить понятия: количество связанной воды и водоудерживающая способность (или сила) растения.

В физиологической литературе эти понятия существуют на равных правах, причем для характеристики их применяется обычно один и тот же критерий - количество отнятой или оставшейся в растении воды.

Однако водоудерживающая сила не может измеряться количеством воды (т.е. показателем емкости), поскольку она является фактором напряжения.

При сопоставлении разных растений по содержанию той или иной фракции воды берется определенная постоянная величина - водоотнимающая сила. Растения сравниваются по количеству воды, отнятой этой силой или оставшейся после ее воздействия. При сопоставлении тех же растений по величине водоудерживающих сил следует за постоянную величину принимать определенное количество отнятой воды и сравнивать растения по величине сил, которые нужно к ним приложить для отнятия этого количества воды.

Многочисленными исследованиями установлена тесная связь между содержанием воды в листьях растений: интенсивностью и 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 известное время, а в некоторых случаях и навсегда утрачивают значительную часть своей фотосинтетической активности.

Обычные мезофитные 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 в других работах было показано, что некоторое повышение интенсивности фотосинтеза у растений, перенесших засуху, не приводит к повышению урожая, так как они имеют, как правило, значительно меньшую площадь листьев.

Проводя анализ своих опытов, а также опытов Ничипоровича и Бакулиной (211), Ряд ученых полагает, что характер изменения фотосинтетической деятельности растений от изменений влажности почвы, периодического завядания и последующего оправления находятся в глубокой связи с природой самих растений и в особенности со степенью их засухоустойчивости и способности приспособляться к условиям засухи.

Большой интерес в этом отношении представляют работы Генкеля по предпосевному закаливанию растений против засухи путем одно - или многократного подсушивания наклюнувшихся семян.

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. Установлено, что интенсивность фотосинтеза находится в прямой зависимости от количества связанной, особенно коллоидно связанной, воды в листьях растений и степени гидратации клеточных коллоидов. Эти формы воды сосредоточены преимущественно в протоплазме и хлоропластах, чем объясняется особая роль этих форм воды в процессе фотосинтеза.

Но связь фотосинтеза с водным режимом листа является взаимной. Как

установлено Сисакьяном, потеря воды листом вызывает усиление гидролитической активности ферментов, что приводит к увеличению осмотического давления и повышению водоудерживающей способности клеток.

Значительные изменения в зависимости от влажности почвы претерпевает важный показатель водного режима растений - транспирация. Многочисленными исследованиями 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 слабо связанной и в обратной - от содержания наиболее прочно связанной 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.

В то время, как внешние факторы, являясь физической причиной испарения, своим воздействием вызывают увеличение или уменьшение размеров транспирации, внутренние факторы сказываются главным образом на ограничении действия внешних факторов и оказывают регулирующее действие на транспирацию. Наличие в растительном организме постоянно действующих внутренних факторов и отличает транспирирующий живой организм от обыкновенного влажного тела.

Внутренние факторы транспирации обуславливают транспирационную способность растений, под которой следует понимать скорость отдачи растением парообразной воды в зависимости от физических факторов испарения.

Внутренние факторы по своему характеру могут быть разделены на две категории: к первой относятся факторы, вызывающие систематическое уменьшение транспирационной способности с увеличением возраста растений. Эти факторы определяют изменение скорости поступления и передвижения воды по корневым и стеблевым частям растений, ослабление кутикулярного испарения, систематическое уменьшение влажности растительной массы, при котором оболочки клеток удерживают молекулы воды с тем большей силой, чем больше они обезвожены.

Ко второй категории относятся факторы, вызывающие суточное изменение транспирации. Изменение суточного ритма транспирации, по мнению Толмачева (74), связано с накоплением в листьях ассимилятов, сопровождающемся изменением водоудерживающей способности, протоплазмы, а, следовательно, и депрессией транспирации. Кроме того, накопление ассимилятов и подсыхание листьев вызывает сужение устьичных щелей, что также ведет к уменьшению интенсивности транспирации.

Постепенное накопление в течение дня пластических веществ вызывает

и постепенное ослабление транспирации. Солнечный свет является, таким образом, фактором двойного значения. В ранние утренние часы под влиянием света крахмал устьичных клеток переводит в сахар, вследствие чего устьицы широко раскрываются и интенсивность транспирации увеличивается.

В последующем, в процессе фотосинтеза происходит систематическое накопление пластических веществ, действующее в направлении подсыхания листьев, сужения устьичных щелей и ослабления транспирации.

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.

### **Водные свойства почвы. Гидрологические константы**

В отличие от таких факторов жизни растений, как солнечная радиация и тепло, которые Тимирязев К.А. назвал космическими факторами, действующими на растение прямо, непосредственно, вода является земным фактором, поступающим в растение через посредством почвы.

Почвенная влага является практически единственным источником влаги сухопутных растений. Поэтому от содержания влаги в почве и степени ее доступности для растений зависит влагообеспеченность растений.

Изучению водных свойств почвы посвящено множество исследований. Здесь мы рассмотрим почву как среду, обеспечивающую растение водой, и следовательно, как среду для развития корней.

Почва, будучи самостоятельным природным телом, соприкасается с другими природными телами: атмосферой, грунтом и живыми организмами. Между почвой и названными природными телами существует обмен энергией и различными веществами в том числе влагой. Благодаря этому содержание влаги в почве непрерывно изменяется, в силу чего его можно охарактеризовать лишь режимом влажности.

Этим термином Роде А.А. обозначает совокупность всех приращений и уменьшений содержания влаги в почве.

Но режим влажности почвы в свою очередь определяется ее водным режимом, под которым следует понимать совокупность всех явлений поступления влаги в почву, ее расхода из почвы, передвижение ее в почве и изменение ее физического состояния. Количественной характеристикой водного режима

почвы является ее водный баланс. Элементы водного режима почв в зависимости от их свойств, а главным образом от физико-географических условий, могут иметь разное количественное выражение и, сочетаясь друг с другом в разных количественных соотношениях, создавать разные типы водного режима почв.

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. Возникновение этих свойств сопряжено с тем, что почва является трехфазной системой. В ее состав входит твердая часть (минералы разной степени дисперсности и органические вещества), жидкая (почвенный раствор) и газообразная (почвенный воздух).

Значительная удельная поверхность почвы, достигающая сотен м<sup>3</sup>/га, с которой сопряжена и значительная поверхностная энергия и присущая почве порозность являются причинами того, что между ее твердой частью и почвенной влагой возникает ряд физико-химических явлений.

Природа этих явлений едина, но по особенностям их проявления можно различать силы сорбционные и силы менисковые или капиллярные.

Кроме этих двух категорий сил, в почвенной влаге действуют еще силы осмотические, измеряемые величиной осмотического давления. Особенностью осмотических сил является то, что их источник находится в самом почвенном растворе (почвенной влаге).

Сорбционные, менисковые и осмотические силы действуют в гравитационном поле. Обусловленная последним сила тяжести является внешней по отношению к почве, ее величина и направление постоянны. Силы же остальных трех категорий присущи самой почве, причем их величина может варьировать от нуля до различных пределов. При этом величина этих сил в разных точках почвенной толщи в общем случае неодинакова, в результате чего в почве создаются градиенты этих сил. Под влиянием градиентов влага движется, причем движение совершается в направлении градиентов, которое может быть, вообще говоря, любым.

Действие сорбционных сил выражается в том, что они стремятся закрепить молекулы воды около поверхности почвенных частиц, создавая вокруг последних водные оболочки ориентированных молекул воды. Сорбционные силы ослабевают по мере нарастания толщины водных оболочек, вследствие чего эта толщина имеет некоторый предел, за которым сорбционные силы оказываются уже настолько малыми, что они не могут удержать остальную часть почвенного раствора от отека.

Капиллярные (менисковые) силы по своей природе примыкают к сорбционным постольку, поскольку в основе искривления менисков (от которых зависит величина поверхностного давления) лежит смачивание поверхности стенок капилляров, т.е. проявление поверхностной энергии, присущей почвенным частицам. Существенным отличием капиллярных сил от сил сорбционных в отношении удержания ими влаги является то, что сорбционные силы действуют непосредственно на отдельные молекулы воды, закрепляя их в составе водных оболочек, в то время как менисковые силы через поверхностный слой мениска толщиной в несколько молекул действуют на некоторый объем свободной (т.е. не находящейся под влиянием сорбционных сил) влаги. Удержание такого объема является, однако, результатом равновесия при полной компенсации силы тяжести менисковыми силами.

Источник осмотических сил, конкретным выражением которых является осмотическое давление почвенного раствора, находится в самом почвенном растворе.

Осмотические силы не могут противодействовать гравитационному стеканию раствора, ибо раствор стекает целиком, с содержащимися в нем солями. Осмотические силы могут вызывать одновременное передвижение влаги и солей лишь в пределах самого раствора: солей - от участков, где осмотическое давление и, следовательно, концентрация солей выше» к участкам, где оно ниже, а влаги - в обратном направлении.

Количественный учет действия на почвенную влагу столь многих и разнообразных по своей природе сил, требует применения соответствующего метода. Таким является метод термодинамического потенциала почвенной влаги. Почвенная влага, находящаяся под влиянием рассмотренных сил, стремится прийти в равновесие с ними. Однако в почве всегда существуют различные явления, которые препятствуют установлению равновесия. В основе всех этих нарушающих равновесие явлений лежит лучистая энергия солнца с ее тройным (суточным, годичным и многолетним) ритмом.

Лучистая энергия солнца, поглощаясь почвой, создает в ней температурные градиенты, вызывающие передвижение почвенной влаги. Лучистая энергия является причиной испарения влаги из почвы и иссушения корнеобитаемого слоя растениями (десукции), что приводит к возникновению сорбционных и менисковых сил, что также влечет за собой передвижение влаги.

Таким образом, водные свойства почвы определяются прежде всего процессами взаимодействия между твердой и жидкой составными частями почвы, разыгрывающимися в гравитационном силовом поле и при участии энергии солнца.

Силы, удерживающие воду в почве в пределах, характеризующихся

определенными гидрологическими константами:

полная влагоемкость (ПВ) представляет собой наибольшее количество воды, которое может содержаться в почве при условии полного заполнения водой всех пустот и пор.

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

Влажность разрыва капилляров (ВРК) - влажность почвы, при которой подвешенная вода в процессе испарения и поглощения корнями растений теряет сплошность и перестает передвигаться к испаряющейся 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 гигроскопичность характеризуется влажностью, которую приобретает почва в эксикаторе над 10%-ной серной кислотой или над насыщенным раствором сернокислого калия.

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

Удержание воды в интервале от полной (ПВ) до наименьшей влагоемкости (НВ) определяется капиллярными силами и сопротивлением водоупорного слоя. При дальнейшем понижении влажности преобладающее значение приобретают адсорбционные силы, а при снижении влажности ниже максимальной адсорбционной влагоемкости (МАВ) - адсорбционные силы. Эта же колонка характеризует соотношение в почве категорий воды, различающихся силой связывания.

Прочносвязанной Роде А.А. считает воду, удерживаемую адсорбционными силами, рыхлосвязанной - воду, удерживаемую сорбционными силами,

свободной-воду, удерживаемую сопротивлением водоупорного слоя, капиллярными силами и частично сорбционными силами.

Роде А.А. отмечает, что не все предлагаемые им категории почвенной влаги четко разграничиваются. Отчетливая граница имеется лишь между прочно - и рыхлосвязанной водой. Между рыхлосвязанной и свободной водой такой границы не существует. Рыхлосвязанную воду он рассматривает как переходную форму между прочносвязанной и свободной, причем указывает на сильное варьирование ее количества в зависимости от механического состава почвы, концентрации почвенного раствора и других условий.

Важнейшими климатообразующими факторами являются тепло и влага, т. е. тепловой и водный режимы региона. В условиях Беларуси для традиционно возделываемых на ее территории полевых культур тепла вполне достаточно и для обеспечения физиологических процессов, протекающих в растениях, и для завершения вегетационного цикла развития. Тепловые ресурсы республики позволяют выращивать урожаи, по своему уровню близкие к потенциально возможным. То есть 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.

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

Определение климатически обеспеченной урожайности 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. Эта взаимосвязь и методика расчета климатически обеспеченной урожайности на основании использования биогидротермического показателя продуктивности отражена в формуле, профессора А. М. Рябчикова (см. раздел 3):

*Почва и питательные вещества. Почва как фактор жизни растений и средство производства. Плодородие почв. Потенциальное и эффективное плодородие. Способы оценки плодородия почв. Элементы почвенного питания растений. Потребность растений в элементах почвенного питания, их доступность, характер потребления и вынос с урожаем. Отношение растений к реакции почвенного раствора и чувствительность к содержанию подвижного алюминия и марганца. Виды и разновидности почв по генетическому*

*типу и гранулометрическому составу. Агрохимические и агрофизические свойства почв. Тепловой, водный и воздушный режимы различных типов почв. Отношение различных видов растений к гранулометрическому составу почв. Реакция сельскохозяйственных растений на плотность пахотного слоя. Управление корневым питанием растений – наиболее эффективный способ влияния на рост, развитие растений и формирование урожая. Пути регулирования почвенного плодородия.*

### **Почва как фактор жизни растений и средство производства.**

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

1. **Поставка питательных веществ:** 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.

2. **Регулирование влажности и водного режима:** 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.

3. **Физическая поддержка и укрепление корней:** Почвенные частицы образуют структуру почвы, которая предоставляет 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.

4. **Важность почвы для газообмена:** Почва обеспечивает среду для роста растений, выделяя и поглощая газы, такие как углекислый газ, метан и водяной пар.

5. **Фильтрация вредных веществ:** Почва также является важным фильтром для водных ресурсов, способным задерживать и задерживать вредные вещества, предотвращая их попадание в водные системы.

Итак, почва является незаменимым фактором для роста растений. Она предоставляет им питательные вещества, воду, опору и защиту.

Важнейшим свойством почвы является ее плодородие, т. е. способность удовлетворять потребности возделываемых растений и тем самым обеспечивать выход нужной продукции. Только пригодность почвы для возделывания растений делает землю особым средством производства в земледелии.

## **Плодородие почв. Потенциальное и эффективное плодородие.**

Под *плодородием* понимают 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. Причем для каждой почвенной разновидности эти показатели будут иметь свою специфику. На основании их учета создаются модели почвенного плодородия.

### ***Виды плодородия почв***

Различают такие виды плодородия: естественное, искусственное (природное), эффективное (экономическое), потенциальное.

***Естественное*** плодородие — плодородие, которым обладает почва в природном состоянии без вмешательства человека. Оно формируется в результате природного почвообразовательного процесса. В чистом виде присуще целинным почвам и характеризуется продуктивностью природных ценозов.

***Искусственное*** плодородие обусловлено количественными и качественными изменениями свойств и режимов почв, вызванными воздействием человека. В чистом виде оно возникает при создании искусственных субстратов для выращивания растений в культивационных сооружениях (теплицах, фитотронах и др.).

***Потенциальное*** плодородие — это плодородие почвы, определяемое ее свойствами, как приобретенными в процессе почвообразования, так и созданными или измененными человеком. Оно характеризуется общими запасами элементов питания растений, формами их соединений и сложным взаимодействием других свойств, определяющих способность почвы в благоприятных условиях удовлетворять потребности растений.

Высоким потенциальным плодородием обладают, например, болотные торфяные почвы низинного типа, которые имеют значительные запасы элементов питания и способны после осушительных мелиораций обеспечить высокий урожай.

***Эффективное*** (экономическое) плодородие реализуется в урожае сельскохозяйственных культур. Оно зависит не только от уровня природного плодородия, но и от условий использования почв в производстве, от развития

науки и техники, воплощения их достижений, тесно связано с социально-экономическими отношениями. Эффективное плодородие — результат реализации потенциального плодородия.

Итак, потенциальное плодородие – это общий запас, а эффективное плодородие – то, что растения могут реально использовать для своего роста и развития. Оба понятия важны для оптимального использования земельных ресурсов в сельском хозяйстве.

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. Деградация почвы — цепная реакция, которую трудно остановить. Ухудшение земель снижает продуктивность растений. Почва в этом случае становится подвержена эрозии и вымыванию полезных веществ, что опять ведёт к снижению численности растений. Мероприятия по возобновлению плодородия почв долговременны, очень дорогостоящи и сложны, поэтому так важно следить за состоянием почвы, не допуская её сильного истощения или загрязнения.

*Элементы почвенного питания растений. Потребность растений в элементах почвенного питания, их доступность, характер потребления и вынос с урожаем.*

Почвенное питание представляет собой основу для роста растений. В почве содержатся необходимые для растений минеральные элементы, такие как азот, фосфор, калий, магний и другие. Растения через корни поглощают эти элементы и используют их для синтеза органических веществ, таких как белки, углеводы и жиры.

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

Элемент      Функция

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.

Таблица 6. – Удельный (нормативный) вынос основных элементов питания с 1 т основной и соответствующим количеством побочной продукции, кг

Культуры	Основная продукция	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Mg	SO <sub>4</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
Озимая пшеница	Зерно	28,2	10,8	19,2	4,7	3,1	5,0
Озимая рожь	Зерно	28,0	12,1	23,3	4,1	3,1	6,0
Озимая тритикале	Зерно	26,0	11,5	21,0	4,2	3,0	5,5
Озимый ячмень	Зерно	25,0	11,1	25,0	4,5	2,8	8,0
Озимая рожь	Зеленая масса	4,5	1,0	4,0	1,2	0,6	0,3
Озимые зерновые	Зеленая масса	4,8	1,2	3,9	1,2	0,6	0,3
Яровая пшеница	Зерно	30,4	11,6	24,7	3,2	2,4	6,0
Яровая тритикале	Зерно	25,3	12,0	21,9	2,9	3,2	6,0
Яровой ячмень	Зерно	29,1	11,9	27,4	4,8	3,0	9,0
Овес	Зерно	25,9	12,4	28,6	4,2	3,3	10,0
Кукуруза	Зерно	30,2	13,3	27,6	5,0	3,1	6,1
Просо	Зерно	30,0	12,0	30,0	3,6	1,8	1,2
Гречиха	Зерно	37,5	19,8	48,2	8,1	3,4	8,0
Зерновые в среднем	Зерно	28,5	12,5	26,5	4,8	3,0	6,6
Яровые зерновые	Зеленая масса	4,2	1,2	3,6	1,2	0,6	0,3
Кукуруза	Зеленая масса	3,3	1,2	4,2	0,6	0,5	0,9
Горох	Зерно	58,9	14,0	29,0	24,0	4,8	10,5
Пелюшка	Зерно	63,6	24,9	35,6	21,8	8,0	16,4
Кормовые бобы	Зерно	60,0	18,0	38,0	25,0	7,4	11,9
Фасоль	Зерно	45,0	10,7	37,9	–	–	–
Вика яровая	Зерно	60,0	18,0	38,0	–	–	–
Сераделла	Зерно	60,0	18,0	38,0	21,0	8,7	12,0
Люпин	Зерно	84,3	19,9	44,0	18,8	8,5	14,2
Соя	Зерно	61	18	29	18	9	
Зернобобовые в среднем	Зерно	61,7	17,6	37,2	21,4	6,6	12,1
Горох	Зеленая масса	6,5	1,5	5,0	–	–	–
Пелюшка	Зеленая масса	4,5	1,1	3,5	–	–	–
Кормовые бобы	Зеленая масса	3,2	1,0	3,5	–	–	–
Вика	Зеленая масса	4,5	1,1	3,5	–	–	–

Сераделла	Зеленая масса	4,7	1,2	4,0	–	–	–
Люпин	Зеленая масса	5,4	1,7	3,9	–	–	–
Однолетние бобовые травы	Зеленая масса	4,8	1,3	3,9	2,0	0,9	0,6
Пелюшко-овсяная смесь	Зерно	42,5	17,8	28,2	–	–	–
Вико-овсяная смесь	Зерно	43,1	15,4	30,9	–	–	–
Смесь бобово-злаковых трав	Зерно	43,7	15,5	27,8	14,8	4,5	9,5
Однолетние бобово-злаковые травы	Зеленая масса	4,5	1,3	4,3	1,5	0,7	0,5
Однолетние бобово-злаковые травы	Сено	17,4	5,4	25,9	7,6	2,9	2,5
Лен-долгунец	Волокно	58,1	22,9	73,0	15,0	7,8	16,0
Сахарная свекла	Корни	4,0	1,6	6,5	1,6	1,2	1,6
Картофель столовый	Клубни	5,4	1,6	10,7	2,2	1,1	0,8
Картофель семенной	Клубни	5,4	2,2	9,8	–	–	–
Картофель технический	Клубни	5,4	2,0	9,5	–	–	–
Кормовая свекла	Корни	3,54	1,1	7,8	0,9	0,8	1,0
Кормовая брюква	Корни	3,0	1,0	4,3	0,9	0,7	1,2
Турнепс	Корни	2,7	1,0	3,7	0,8	0,7	2,0
Кормовая морковь	Корни	2,6	1,0	5,0	0,9	0,8	1,0
Кормовые корнеплоды	Корни	3,0	1,1	5,1	1,0	0,8	1,2
Озимый рапс	Семена	58,0	29,0	26,0	5,2	1,9	3,3
Яровой рапс	Семена	55,0	30,0	30,0	5,1	2,0	3,5
Сурепица	Семена	53,0	20,0	21,0	–	–	–
Горчица	Семена	57,0	20,0	23,0	–	–	–
Редька масличная	Семена	50,0	20,0	32,0	–	–	–
Крестоцветные в среднем	Семена	54,6	23,8	26,4	5,2	2,0	3,4
Сурепица	Зеленая масса	3,4	0,7	4,6	–	–	–
Горчица	Зеленая масса	4,2	1,0	5,1	–	–	–
Яровой рапс	Зеленая масса	5,0	1,0	4,9	3,0	1,2	0,8
Озимый рапс	Зеленая масса	5,0	0,7	4,7	2,8	1,1	0,7
Редька масличная	Зеленая масса	4,3	1,3	5,5	1,6	1,0	0,6
Крестоцветные в среднем	Зеленая масса	4,4	0,9	5,0	2,5	1,1	0,7
Однолетние злаковые травы	Семена	195,0	75,0	185,0	–	–	–
Райграс однолетний	Сено	16,6	7,0	38,5	–	–	–
Однолетние злаковые травы	Сено	13,9	5,5	25,4	6,9	2,8	2,5
Однолетние злаковые травы	Зеленая масса	2,8	1,1	5,1	1,4	0,6	0,5

Райграс однолетний + многолетние травы	Зеленая масса	3,9	1,7	9,2	–	–	–
Райграс пастбищный	Сено	16,3	6,2	20,2	–	–	–
Тимофеевка луговая	Сено	17,6	7,0	24,0	–	–	–
Ежа сборная	Сено	23,3	8,0	25,6	–	–	–
Овсяница луговая	Сено	21,1	7,5	24,9	–	–	–
Многолетние злаковые травы	Сено	14,9	4,5	24,1	4,9	2,0	2,0
Многолетние злаковые травы	Зеленая масса	3,0	0,9	4,8	1,0	0,4	0,4
Многолетние злаковые травы	Семена	195,0	75,0	185,0	4,1	3,5	6,0
Многолетние бобово-злаковые травы	Сено	17,3	5,4	25,7	13,0	4,8	2,5
Многолетние бобово-злаковые травы	Зеленая масса	3,5	1,1	5,1	2,4	0,9	0,5
Многолетние бобовые травы	Сено	23,4	5,1	27,2	15,3	7,6	3,1
Многолетние бобовые травы	Зеленая масса	4,3	1,0	4,4	3,0	1,5	0,6
Многолетние бобовые травы	Семена	260,0	65,0	200,0	19,1	9,0	5,2
Люцерна	Сено	27,3	5,8	23,7	–	–	–
Клевер луговой	Сено	21,4	4,8	25,2	–	–	–
Растениеводческая продукция	к. ед.	21,0	8,0	22,0	8,1	4,3	4,5

Наиболее важными для питания культур являются находящиеся в почвенном растворе ионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . 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°C) замедляют усваиваемость фосфора и тормозят поглощение основных элементов питания корневой системой растений. При +5...6°C 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°C до +30°C.

Освещение, необходимое для процессов фотосинтеза, 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. Продолжительность воздействия и интенсивность солнечных лучей влияют на поступление в растения кальция, фосфора, магния, молибдена, серы, аммиака и других элементов. 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 поглотительную 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. Повышение содержания влаги в грунте (до определенного предела) увеличивает доступность элементов питания в связи с их растворимостью в воде.

Оптимальный (средний) уровень влажности для каждого типа почв не одинаков. Для суглинистого чернозема он составляет около 55 – 61%, для песчаного чернозема этот показатель находится в пределах 35 – 40%, а для подзолистых почв – от 41% до 61%. Но при этом необходимо учитывать также различие химического и физико-механического составов различных слоев почв, в которых находятся вещества, необходимые для питания растений. На усваиваемость микро- и макроэлементов растениями негативно влияют как засуха, так и переувлажнение грунта.

Не меньшее влияние на доступность питательных элементов для растений оказывает и кислотно-щелочная среда почвы. Для каждого из элементов минерального питания есть определенное значение рН 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.

### *Отношение растений к реакции почвенного раствора*

Реакция почвенного раствора определяется концентрацией свободных водородных ( $\text{H}^+$ ) и гидроксильных ( $\text{OH}^-$ ) ионов и измеряется водородным показателем рН — отрицательным логарифмом концентрации ионов водорода. Почвы могут иметь нейтральную реакцию ( $\text{pH}=7$ ), кислую ( $\text{pH}<7$ ) или щелочную ( $\text{pH}>7$ ). Кислые почвы имеют рН 4,5-5, карбонатные и засоленные почвы — 8-9 и выше. В процессе своей жизнедеятельности растения, потребляя из почвы анионы и катионы, выделяют в почву эквивалентное количество ионов  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ . Это может привести к сдвигу реакции почвенного раствора в кислую или щелочную сторону. Столь же существенное влияние на кислотность почвы оказывают микроорганизмы.

Кислотно-основные свойства почвы — это одна из важных характеристик ее плодородия. В природе распространение кислых почв связано с определенными условиями почвообразования. В одних случаях этот процесс приводит к потере оснований ( $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ) и подкислению почвы (подзолистый процесс), в других — к обогащению почв основаниями (дерновый процесс).

Растительность также оказывает влияние на почвенную реакцию. Хвойные леса и мох сфагнум способствуют усилению кислотности благодаря кислым свойствам их растительных остатков. Напротив, лиственные леса и травянистая растительность лугов благоприятствуют накоплению оснований и поэтому почву не подкисляют.

Сельскохозяйственная деятельность человека вызывает изменение почвенной реакции. Вынос из почвы с урожаем оснований ( $\text{Ca}$  и  $\text{Mg}$ ) приводит к усилению кислотности почвы. Длительная механическая обработка почвы также может привести к ее обеднению основаниями. Кислая реакция почв губительна для многих с/х растений и полезных микроорганизмов. Кислые почвы имеют плохие физические характеристики. 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 рН около 9-10 почвы имеет большую вязкость, липкость, водонепроницаемость.

Распределение типов почв в зависимости от реакции почвенного раствора: рН<sub>KCl</sub> Тип почвы

3-4 Сильнокислая

4-5 Кислая

5-6 Слабокислая

7 Нейтральная

7-8 Слабощелочная

8-9 Щелочная

9-11 Сильнощелочная

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 (рН Н<sub>2</sub>O — 7,0-8,0; рН KCl — 6,6-7,5) 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 рН KCl — 6,0-6,5. Они хорошо отзываются на известкование. Повышение кислотности почвы до рН 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 рН KCl от 5 до 7,5.

К четвертой группе относятся картофель, лён долгунец, просо, сорго и др. Для этих культур оптимальное значение рН KCl — 5,1-5,6. Они довольно хорошо переносят умеренную кислотность почвы, положительно отзывается на из-

весткование при сохранении в почве оптимального соотношения между кальцием, калием, магнием, бором и другими элементами питания. Для пятой группы культур (люпин желтый, козлятник, щавель, сераделла, чай и др.) оптимальные условия для роста и развития создаются при рН КС1 4,5-5,0. Они малочувствительны к повышенной кислотности и нуждаются в известковании только на очень сильноокислых (рН КС1)

*Виды и разновидности почв по генетическому типу и гранулометрическому составу.*

Гранулометрический состав почвы — один из важнейших параметров, определяющих ее физические и химические свойства. Он позволяет классифицировать почвы по составу и определять их текстуру. Гранулометрический состав характеризует долю песка, соли, глины и ила в почве.

Текстура почвы играет решающую роль в ее использовании в сельском хозяйстве. Например, песчаные почвы отличаются хорошей воздухопроводимостью и влагоудержанием, что способствует нормальному развитию корневой системы растений. Однако, такие почвы имеют низкую плодородность из-за низкой водоудерживающей способности. В то же время, глинистые почвы могут использоваться в сельском хозяйстве, так как обладают высокой плодородностью, но они имеют низкую водопроницаемость и склонны к образованию плотных корок.

Фракции грунта определяются по размеру частиц и классифицируются на основе стандартных границ. Например, песок имеет структурные элементы размером от 0,05 до 2 мм, супесчаный грунт состоит из частиц размером от 0,002 до 0,05 мм, а глинистый грунт содержит мельчайшие частицы размером менее 0,002 мм.

*Агрохимические и агрофизические свойства почв. Тепловой, водный и воздушный режимы различных типов почв. Отношение различных видов растений к гранулометрическому составу почв.*

### **Агрохимическая характеристика почв**

При агрохимической характеристике почвы учитываются запасы питательных веществ в почве, их распределение по профилю, пространственно-временное варьирование в почве и доступность для растений. Показатели: усвояемые формы азота, фосфора, калия, микроэлементов, реакция среды, содержание поглощенных оснований и др. Важным показателем агрохимической характеристики почвы является гумус, в котором содержится почти весь запас азота, значительная часть фосфора, калия, некоторых микроэлементов и

др. Агрохимическая характеристика почвы необходима для обоснования известкования кислых и гипсования засоленных почв, а содержание усвояемых макро- и микроэлементов — для распределения минеральных и органических удобрений, установления доз и соотношений элементов питания в удобрениях.

### **Агрофизические свойства почв**

В отличие от горной породы, характерным и неотъемлемым свойством почвы является ее плодородие – способность обеспечивать растущие растения питательными веществами и влагой и тем самым участвовать в создании урожая. В зависимости от условий образования почвы природное плодородие может достигать различного уровня. Почва служит основным средством сельскохозяйственного производства и всеобщим предметом человеческого труда. Подвергаясь воздействию человека, она приобретает эффективное плодородие, которое зависит от уровня науки и техники, а также от системы общественных отношений.

Характеризуя процесс почвообразования и факторы, его обуславливающие, П. А. Костычев (1949) на первое место выдвигал физические свойства почвы, особенно плотность ее сложения. И. Б. Ревут (1975) считал, что с плотностью сложения связан весь комплекс физических и биофизических процессов в почве.

П. Г. Семихненко (1972) писал, что частыми обработками ухудшаются структура и сложение почвы и с этими неблагоприятными условиями вынуждены бороться еще более частыми обработками почвы. Круг замкнулся. Радикально улучшить агрофизические свойства почв на фоне отвальной вспашки не представляется возможным. Значительное улучшение агрофизических свойств почвы возможно при обработке ее без оборота пласта с оставлением на поверхности стерни и пожнивных остатков.

**Плотность сложения почвы.** При оставлении на поверхности почвы стерни и пожнивных остатков не образуется почвенной корки, благодаря чему улучшаются водопроницаемость и воздухообмен; накапливается больше влаги, и почва разуплотняется; увеличивается содержание органического вещества в верхнем слое почвы, что повышает ее структурность; при рыхлении без оборота пласта постепенно исчезает плужная подошва.

**Удельный вес почвы** – отношение веса твердой фазы (почвенных частиц) к весу того же объема воды при 4°С. Наибольший удельный вес имеет минеральная почва, например песчаная с высоким содержанием кварца (удельный вес 2,65); удельный вес перегноя и торфа 1,6. Поэтому почвы с большим количеством гумуса отличаются меньшим удельным весом (так, у мощного чернозема он 2,37).

**Объемный вес почвы** – вес единицы объема (1 см<sup>3</sup>) сухой почвы в ее естественном состоянии. Объемный вес пахотного слоя грубозернистой песчаной почвы 1,8; подзолистой суглинистой 1,2; типичного чернозема 1,0 (удельный и объемный вес почвы в перегнойном горизонте меньше, чем в нижележащих горизонтах).

Исходя из объемного веса, вычисляют вес пахотного слоя на 1 га. Для подзолистых суглинков он будет 2,5 – 3 тыс. т. (при глубине 20 см.). Величина плотности определяется удельным весом почвенных частиц и зависит от зональных особенностей почв. Плотность пахотного слоя дерново-подзолистых почв 1,2 – 1,4 г. на 1 см<sup>3</sup>, черноземов около 1 г., подпахотных горизонтов до 2 г. на 1 см<sup>3</sup>.

Почва состоит из твердой фазы (почвенных комочков) и промежутков между ними, или пор. Общий объем пор в процентах по отношению ко всему объему почвы называется пористостью, или скважностью почвы. Поры могут быть заняты водой или воздухом. Агрономически наиболее благоприятно, когда поры почвы, занятые водой и воздухом, имеют отношение 1:1. Такое соотношение отражает благоприятный водный и воздушный режим в почве, способствует биологической активности.

Пористость различают капиллярную (объем промежутков капиллярного сечения), некапиллярную (промежутки более широкие, чем капилляры) и общую.

**Физико-механические свойства почвы** – связность, пластичность, липкость, набухание и усадка – имеют значение при механической обработке, так как от них зависит удельное сопротивление почвы орудиям обработки.

Ø Связность – способность почвы противостоять механическому воздействию. Она зависит от силы сцепления частиц. Наибольшей связностью обладают почвы тяжелые, уплотненные, пересохшие.

Ø **Пластичность** – способность почвы во влажном состоянии изменять форму и сохранять ее. Наиболее высокая пластичность присуща глинистым почвам, менее пластичны супесчаные и песчаные почвы.

Ø **Липкость** – прилипание почвы к орудиям обработки. Глинистые бесструктурные почвы, а также насыщенные натрием (солонцы) отличаются сильной липкостью. Прилипание увеличивается с повышением влажности почвы.

Ø **Набухание** – способность почвы изменять объем вследствие увлажнения и замерзания. К набуханию способны почвы с большим содержанием органического вещества, насыщенные натрием, а также тяжелые (глинистые)

почвы, богатые коллоидами. При изменении объема в почве могут образовываться трещины, а также происходить разрывы корне, выпирание узла кущения и другие, неблагоприятные для растений явления.

**Ø Усадка почвы** – процесс, обратный набуханию, проявляющийся при высыхании, свойственен бесструктурным почвам.

Для агрономической характеристики состояния почвы, под которой понимают пригодность почвы для механической обработки. Она зависит от состояния влажности, связности, пластичности, липкости.

Спелая почва легко обрабатывается орудиями, не прилипает к ним, не мажется, не образует глыб, а крошится при обработке на мелкие комки.

В результате систематического уплотнения почвы пяткой плуга при вспашке на одну и ту же глубину, образуется в верхней части подпахотного слоя плотная прослойка почвы, или плужная подошва. Для предупреждения ее возникновения следует пахать поле на разную глубину и в разных направлениях.

**Вода**, находящаяся в почве и содержащая различные растворенные в ней вещества, называется почвенным раствором. Почвенная влага испытывает действие сил различного характера: силы тяжести, сорбционных сил, исходящих от поверхности почвенных частиц, капиллярных и осмотических. Сорбционные силы достигают значительной величины (несколько тысяч атмосфер), но действуют на короткое расстояние и создают вокруг почвенных частиц оболочку из прочносвязанной влаги, состоящую из двух молекулярных слоев. Плотность ее, по-видимому, более единицы – она не способна растворять электролиты. Поверх этой оболочки образуется слой рыхлосвязанной влаги, толщиной 10 – 15 молекулярных слоев, которая отличается от обыкновенной воды лишь тем, что ее молекулы определенным образом ориентированы по отношению к почвенным частицам. Сорбция воды частицами почвы (гигроскопичность почвы) может начинаться с сорбции водяного пара. Наибольшее количество воды, которое может быть сорбировано из водяного пара при относительной влажности воздуха, близкой к 10%, называется максимальной гигроскопичностью почвы. Водоподъемная способность почвы обусловлена капиллярными силами и выражается в том, что влага поднимается над уровнем грунтовой воды. Высота подъема тем больше, чем тяжелее почва по механическому составу и чем, следовательно, мельче в ней поры. В песчаных почвах высота подъема 30 – 40 см, в суглинистых и глинистых может достигать 3 – 4 м. Такая влага в природе встречается над зеркалом грунтовой воды; называется она капиллярно подпертой влагой и образует так называемую капиллярную кайму. В слое над капиллярной каймой (надкапилляр-

ном слое) содержится подвешенная влага, которая удерживается преимущественно сорбционными, отчасти капиллярными силами. Наибольшее количество подвешенной влаги соответствует наименьшей влагоемкости почвы. Часть влаги, содержащаяся в почве сверх этой величины, в том числе и в капиллярной кайме, способна передвигаться под влиянием силы тяжести (гравитационная влага). Под водопроницаемостью почвы понимают ее способность фильтровать через себя воду. Водопроницаемость тем выше, чем легче механический состав почвы. В почвах глинистых и суглинистых водопроницаемость зависит от степени их оструктуренности. Растения могут усваивать не всю полученную влагу. Прочносвязанная влага полностью не усвояема для растений, с трудом усваивается и часть рыхлосвязанной. Устойчивое завядание растений начинается при влажности, которая называется почвенной влажностью устойчивого завядания; она несколько превышает максимальную гигроскопичность (в 1,3 – 1,5 раза). Содержание влаги в почве (влажность почвы) выражают в процентах от веса почвы или от ее объема; запас влаги в том или ином слое почвы – в миллиметрах водного слоя.

Совокупность поступления влаги, ее передвижения и расхода называется водным режимом почвы. Он играет большую роль в почвообразовании и влагообеспечении растений. Важнейший источник влаги для растений – атмосферные осадки. Залегающая не глубоко от поверхности грунтовая вода тоже может быть источником влаги. Влага атмосферных осадков, поступающая на поверхность почвы, частично стекает по ней, образуя поверхностный сток, который может вызвать смыв и эрозию почвы. Остальная часть проникает и впитывается в почву. Она может расходоваться на десукцию ее растениями и затем возвращаться в атмосферу в процессе транспирации растений. Часть влаги испаряется в атмосферу непосредственно, а часть может стекать в грунтовые воды. В зависимости от относительного развития этих явлений может создаваться водный режим разного типа. Г. Н. Высоцким было установлено три основных типа водного режима почвы: промывной, непромывной и выпотной. При промывном режиме, характерном для почв степной полосы, количество впитавшейся влаги равно количеству, возвратившемуся в атмосферу путем прямого испарения или десукции и транспирации растениями. При этом корнеобитаемый слой к концу лета сильно просыхает. Под корнеобитаемым слоем образуется постоянно существующий сухой горизонт, влажность которого равна или близка к влажности завядания – так называемый мертвый горизонт иссушения. Выпотной тип водного режима создается при близком к поверхности залегании грунтовых вод и при условии, что количество испаряющейся непосредственно или через растения влаги больше, чем сумма осад-

ков. Разность покрывается за счет поступления влаги из грунтовых вод, которые «выпотевают» в почву. Этот тип водного режима характерен для почв вторичного засоления.

**Тепловой режим почвы** определяется притоком тепла, важнейший источник которого – солнечная радиация, нагреванием почвы и последующим ее охлаждением. В тепловом режиме наблюдается двойной – суточный и годовой – режим. Как в суточном, так и в годовом режимах имеются две волны (нагрева и охлаждения), причем с увеличением глубины обе они появляются с опозданием тем большим, чем больше глубина. Суточные колебания температур простираются на глубину до 50 – 60 см., а годовые – до 15 – 18 м. В местностях с низкими температурами зимой наблюдается промерзание почвы. Его глубина может варьировать от нескольких сантиметров до нескольких метров, в зависимости от температуры воздуха и толщины снежного покрова. Оттаивание почвы весной может начинаться снизу, еще до схода снежного покрова. По мере освобождения поверхности почвы от снега она начинает оттаивать сверху вниз. В зависимости от глубины промерзания и температуры мерзлого слоя полное оттаивание может завершаться весной или в середине (даже в конце) лета. В северных районах с коротким и холодным летом успевает оттаять лишь верхний слой почвы, под которым находится слой мерзлой почвы (явление вечной мерзлоты).

*Отношение различных видов растений к гранулометрическому составу почв.*

Несмотря на экологическую приспособленность к различным почвам, каждая культура имеет свои предпочтения к гранулометрическому составу. Подбор культур для выращивания на почвах различного гранулометрического состава представлен в таблице.

**Таблица 7. – Подбор культур для выращивания на почвах различного гранулометрического состава**

Гранулометрический состав почвы	Культуры, оптимальные для выращивания
Пески, супеси (при сбалансированности удобрений)	озимая рожь, картофель, тыква, сераделла, эспарцет, люцерна желтая.
Средне- и легкосуглинистые	овес, горох, гречиха, ячмень, подсолнечник, соя, фасоль, клещевина, рапс
Структурные суглинистые и глинистые	пшеница, кукуруза, лен, сахарная свекла, вика, клевер, кориандр

Бесструктурные и слитые тяжелосуглинистые и глинистые почвы	мало пригодны для большинства сельскохозяйственных культур, но возможно возделывание люцерны, донника
---	---

### *Требования сельскохозяйственных культур к плодородию почв*

Различные сельскохозяйственные растения предъявляют неодинаковые требования к почвенному плодородию – уровню питания, наличию влаги, почвенной реакции и т. д. В связи с этим различные культуры в разной мере снижают свою продуктивность в зависимости от отклонения того или иного показателя почв от его оптимального уровня. Поэтому при сельскохозяйственном использовании почв для обеспечения наивысшей продуктивности растений и наиболее рационального использования почв необходимо знать требования конкретных культур (или их групп) к почвенным условиям.

**Озимая пшеница.** Является одной из основных зерновых культур и среди хлебных злаков наиболее требовательна к почвенным условиям. Для нее характерна высокая потребность в элементах питания. Лучшими являются дерново-карбонатные выщелоченные и оподзоленные и дерново-подзолистые окультуренные легко- и среднесуглинистые почвы. Озимая пшеница чувствительна к переувлажнению почв, наличию повышенных количеств подвижного алюминия ( $>8-10$  мг/100 г почвы) и марганца. Оптимальные агрохимические показатели почвы:  $pH_{KCl}$  6,0–7,3, содержание гумуса не менее 2 %, подвижного фосфора и калия – не менее 150 мг/кг почвы. Песчаные и супесчаные почвы на глубоких песках неблагоприятны. Осушенные торфяно-болотные почвы пригодны под озимую пшеницу.

**Ячмень.** Менее требователен к почвенным условиям, чем пшеница, но более требователен, чем овес и рожь. Наилучшие почвы по гранулометрическому составу – тяжело- и среднесуглинистые, неблагоприятны песчаные. Оптимальные агрохимические показатели почвы:  $pH_{KCl}$  5,8–6,5, содержание гумуса не менее 1,8 %, подвижного фосфора и калия – не менее 150 мг/кг почвы. Относительно засухоустойчив, чувствителен к переувлажнению, повышенной кислотности и переуплотнению почв, солеустойчив.

**Рожь.** По сравнению с пшеницей и ячменем менее требовательна к почвенным условиям. Хорошо развивается в широком диапазоне  $pH_{KCl}$  от 5,5 до 6,0, содержание гумуса 1,5–1,7 %, подвижного фосфора и калия от 150 мг/кг почвы, слабо чувствительна к переувлажнению. Наиболее благоприятны дерново-подзолистые легко-, среднесуглинистые и супесчаные почвы, а также мелиорированные дерново-глеевые и торфяно-болотные.

**Овес.** Среди зерновых культур он менее требователен к почвенным условиям. Хорошо развивается при содержании гумуса не менее 1,4 %, подвижного фосфора и калия – не менее 110 мг/кг почвы. Слабо реагирует на почвенную кислотность. Нуждается в хорошем увлажнении, не боится переувлажнения почв во второй период вегетации. Для него наиболее благоприятны дерново-карбонатные (выщелоченные и оподзоленные), дерново-подзолистые суглинистые и супесчаные, а также осушенные торфяно-болотные и дерново-глеевые почвы, малопригодны песчаные.

**Кукуруза** предъявляет повышенные требования к влажности почвы и обеспечению элементами питания, неустойчива к переувлажнению, засолению и солонцеватости, чувствительна к сильнокислой реакции. Предпочтительны суглинистые и оструктуренные глинистые почвы, неблагоприятны песчаные и супесчаные. Наиболее пригодны хорошо окультуренные дерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые почвы. Оптимальная кислотность  $pH_{KCl} - 6,0-7,5$ .

**Картофель.** Требователен к условиям аэрации и влажности. Поэтому для него предпочтительны легкосуглинистые и связно-супесчаные почвы или оструктуренные тяжелосуглинистые, обладающие наиболее рыхлым сложением. Чувствителен к подщелочению реакции, засолению и солонцеватости. Неустойчив к затоплению и переувлажнению. Наибольшие урожаи получают на мелиорированных низинных торфяных почвах, а также окультуренных легко-, среднесуглинистых и супесчаных дерново-подзолистых. Неблагоприятны песчаные, тяжелосуглинистые и глинистые почвы. Оптимальная кислотность на супесчаных почвах  $pH_{KCl} - 5,0-6,0$ , на легко- и среднесуглинистых – 5,5–6,2, содержание гумуса 3–4 %, подвижного фосфора и калия: дерново-подзолистые суглинистые почвы 260–300 и 200–250 мг/кг почвы соответственно, супесчаные – 210–250 и 200–240 мг/кг почвы соответственно, песчаные 160–200 и 180–200 мг/кг почвы.

**Сахарная свекла.** Предъявляет повышенные требования к почвенному плодородию. Наилучшие урожаи дает на хорошо и глубокогумусированных рыхлых почвах. Предпочтительны легко- и среднесуглинистые, неблагоприятны песчаные и супесчаные почвы. Оптимальный pH 6–8, почвы с pH < 6,0 неблагоприятны. Содержание гумуса не менее 1,8 %, подвижного фосфора и калия не менее 150 мг/кг почвы, бора не менее 0,7 мг/кг почвы. Хорошо переносит слабое засоление. Сильно угнетается и даже погибает при переувлажнении.

**Лен.** Требователен к условиям водного и питательного режимов, а также к кислотности. Оптимум pH 5,0–5,5. При щелочной реакции качество волокна снижается. Плохо переносит избыточное увлажнение и близкие грунтовые

воды. Наиболее благоприятны легко- и среднесуглинистые почвы. Лучшими почвами для него являются дерново-подзолистые суглинистые, особенно на лёссовидных суглинках.

**Гречиха.** Относится к культурам, не очень требовательным к потенциальному плодородию почв, способна усваивать элементы питания из трудно-растворимых соединений почвы. Весьма чувствительна к заболачиванию, засолению, карбонатности и переизвесткованию. Предпочитает легко- и среднесуглинистые почвы, малоблагоприятны тяжелые почвы. Менее чувствительна к реакции почвенной среды. Оптимальное значение  $pH_{KCl}$  находится в широком диапазоне ( $pH_{KCl}$  5,5–7,5), содержание гумуса не менее 1,5 %, подвижного фосфора и калия не менее 150 мг/кг почвы.

**Кормовые корнеплоды.** Весьма требовательны к почвенному плодородию, отличаются высоким выносом с урожаем азота, калия и кальция. Благоприятны почвы, содержащие большое количество элементов питания: хорошо гумусированные, окультуренные дерново-подзолистые, легко- и среднесуглинистые слабокислые, а также аллювиальные луговые и дерново-глеевые почвы.

**Озимый рапс.** Хорошо растет на плодородных структурных и влагоемких почвах с глубоким пахотным горизонтом. Лучшие почвы – дерново-карбонатные, дерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые, супесчаные, подстилаемые моренным суглинком. Оптимальные агрохимические показатели:  $pH_{KCl}$  6,0–6,5 на связных почвах и 5,8–6,0 на легких почвах, содержание гумуса не ниже 1,8 %, подвижного фосфора и калия не менее 150 мг/кг почвы.

**Яровой рапс.** Лучшими почвами являются дерново-подзолистые суглинистые и супесчаные, подстилаемые моренным суглинком. Можно выращивать на торфяных мелиорированных землях. Оптимальные агрохимические показатели: содержание гумуса не менее 2 %, подвижного фосфора и калия – не менее 150 мг/кг почвы,  $pH_{KCl}$  – 5,8–6,5.

**Овощные культуры.** Высоко требовательны к условиям почвенного плодородия и обеспечения влагой. Предпочтительны почвы с хорошим гумусовым слоем, близкой к нейтральной реакцией, содержащие большое количество доступных форм элементов питания, имеющих благоприятное увлажнение. Наиболее пригодны окультуренные луговые, легко- и среднесуглинистые окультуренные дерново-подзолистые, дерново-карбонатные выщелоченные и оподзоленные почвы, мелиорированные торфяно-болотные и дерново-глеевые, а также почвы пойм.

*Управление корневым питанием растений – наиболее эффективный способ влияния на рост, развитие растений и формирование урожая.*

Поглощение питательных веществ – сложный физико-химический и метаболический процесс.

Поэтому важно понимать взаимосвязи между питанием и физиологическими процессами, чтобы создавать и поддерживать оптимальные условия для беспрепятственного поглощения ионов. Рационально обеспечивая питание растений возможно существенно снизить затраты на удобрения, не снижая при этом урожай и его качество. Благодаря пониманию процессов, регулирующих поглощение, передвижение и усвоение элементов питания, приходит понимание потребностей растений, что позволяет вовремя на них реагировать.

*Питание растений. Механизм поглощения ионов.*

Поглощение элементов минерального питания может быть активным (белки-переносчики, ионные каналы, насосы, эндоцитоз) и пассивным (диффузия и адсорбция).

Пассивное поступление элементов (неметаболическое) идет по градиенту химического потенциала и не требует затрат энергии. Пассивное поглощение мало зависит от внешних условий, так как напрямую не связано с жизнедеятельностью растений. В растворах с высокой концентрацией питательных веществ преобладает пассивное поступление ионов.

Активное поглощение ионов (метаболическое) идет против электрохимического градиента и требует энергии, поэтому зависит от интенсивности дыхания, фотосинтеза, температуры и аэрации субстрата.

Первичное поглощение корнями ионов происходит пассивно, путем адсорбции и диффузии. Адсорбция ионов происходит путем обмена катионов и анионов из питательного раствора на ионы  $H^+$  или  $OH^-$  и  $HCO_3^-$ , которые образуются на поверхности корней в результате растворения углекислого газа, выделяющегося в процессе дыхания корней. Начальное поглощение зависит от величины рН, которая влияет на доступность и соотношение количества поглощаемых катионов и анионов. Поглощение катионов происходит интенсивнее при подщелачивании раствора, а анионов — при подкислении. Для томата оптимальная доступность всех элементов питания происходит при рН 5,5-6,0 ед., для огурца — при рН=5,5-5,8 ед. Часто проблемы с питанием у растений возникают не в связи с недостатком того или иного элемента, а из-за невозможности их поглощения, когда рН питательной среды выходит за пределы оптимального диапазона.

При возрастании рН усвоение микроэлементов и фосфора растениями снижается, образуются нерастворимые соединения кальция и магния. С понижением рН ниже оптимума снижается поглощение молибдена, кальция,

магния и возрастает потребление железа, марганца, цинка, меди, что может оказать токсичное действие на растения.

*Слишком низкая рН (менее 5,0 ед.) увеличивает проницаемость мембран, в результате чего они повреждаются и происходит подкисление клеточного сока, ухудшается углеводный и фосфорный обмен, а в растениях снижается содержание белка и концентрация хлорофилла.*

Для растений, выращиваемых на субстратах необходимо регулярно контролировать рН питательного раствора и вытяжки из субстрата.

Благодаря диффузии (из области высокой концентрации в область низкой концентрации) в основном поглощаются фосфор и калий.

Передвижение воды по растению происходит по градиенту водного потенциала с помощью нижнего концевых двигателя (корневого давления) и верхнего концевых двигателя (транспирации), и от согласованности этих процессов зависит скорость транспорта воды и элементов питания.

За счет разницы водных потенциалов (максимален он в субстрате, минимален — в воздухе) вода поднимается от корней к листьям. Чем больше разница водных потенциалов, тем активнее клетки листа будут терять воду и тем интенсивнее будет идти транспирация. При высокой влажности воздуха транспирация минимальна, в этом случае передвижение воды будет происходить в основном за счет корневого давления. Чем мощнее корневая система, тем интенсивнее происходит испарение, но высокая транспирация вовсе не показывает, что столь же интенсивно поглощаются соли из питательного раствора. В большей степени от транспирационного потока зависит поглощение калия, кальция, магния и нитратов. Условия, ограничивающие транспирацию растений, в большей степени препятствуют поступлению кальция в растущие клетки.

Для нижнего концевых двигателя источник энергии — дыхание корней, от скорости которого будет зависеть поступление воды и поглощение питательных веществ. Так, например, при переувлажнении субстрата затрудняется воздухообмен в корневой зоне, кислорода становится недостаточно для дыхания корней, а увеличение концентрации углекислого газа повреждает корневые волоски, в результате чего дыхание подавляется, поступление воды и солей снижается, что замедляет транспирацию.

*Когда транспирация подавлена, а корневое давление высокое, происходит гуттация — выделение воды через гидатоды на кончиках листьев. Эти капли способствуют заражению растений и распространению различной инфекции (пероноспороз, аскохитоз, серая гниль).*

Высокое корневое давление может быть вызвано низкой концентрацией питательного раствора или повышенной температурой корневой зоны.

Клетками растений используется малая часть воды, основной ее объем расходуется на испарение. Чем больше растение испаряет воды для синтеза 1 грамма сухого вещества (транспирационный коэффициент), тем более непродуктивно работает растение. Транспирационный коэффициент возрастает по мере увеличения сухости воздуха или при уменьшении концентрации питательного раствора. Благоприятные условия микроклимата и оптимальная ЕС — залог продуктивной работы растения.

Влияние влажности воздуха на транспирацию и на поглощение питательных веществ может сильно изменяться в зависимости от вида растений. При высокой влажности воздуха надземная масса растения нарастает интенсивнее, чем корневая система. При слишком низкой влажности воздуха устьица закрываются, снижается поступление углекислого газа и интенсивность фотосинтеза падает, замедляется образование и отток ассимилятов. Все это сдерживает рост сначала надземных органов, а затем и корней. Рост корневой системы замедляется, корневые волоски отмирают. Нижние листья начинают отмирать в результате реутилизации элементов питания.

На свету ускоряется работа ионных насосов благодаря фотосинтетическому транспорту электронов и фосфорилированию. Усиление скорости фотосинтеза приводит к возрастанию потребления питательных веществ, которое также коррелирует со скоростью оттока ассимилятов из надземных частей в корни.

Образование АТФ и АДФ усиливают поглощение фосфора, быстрый синтез транспортных белков ускоряет поглощение азота. Увеличение интенсивности фотосинтеза приводит к возрастанию количества углеводов, в результате чего интенсивность дыхания корней усиливается.

При недостатке освещения поглощение калия снижается меньше, чем остальных питательных элементов.

При низкой освещенности падает активность фермента нитратредуктазы, в результате чего восстановление нитратного азота замедляется, тормозится синтез аминокислот. Поэтому при низкой освещенности снижают дозы азота и увеличивают дозы калия. Поступление фосфора задерживается из-за низкой скорости образования АТФ, НАДФН, восстановление  $SO_4^{2-}$  замедляется. Из-за недостаточной освещенности на растениях может проявиться недостаток магния.

Поглощение, как и интенсивность дыхания корней, увеличивается параллельно с увеличением концентрации кислорода и его недостаток может стать ограничивающим фактором для поглощения элементов питания.

Для беспрепятственного поглощения солей необходимо создавать благоприятные условия для процесса дыхания — поддерживать оптимальный

водно-физический режим в корневой зоне (влажность, стратегия поливов, количество дренажа), который бы регулярно обеспечивал корни свежей порцией кислорода. Оптимальное содержание кислорода в воздухе корневой зоне составляет 8-10%. При переуплотнении или переувлажнении субстрата его содержание начинает снижаться, в результате чего нарушается энергообмен, поглощение элементов питания снижается, жизнедеятельность аэробных микроорганизмов подавляется, происходит накопление токсичных веществ в корневой зоне.

Поддержание благоприятной аэрации – один из важных путей создания оптимальных условий для дыхания корней и поглощения ими солей.

Выбор правильного субстрата поможет облегчить поддержание благоприятных условий в корневой зоне. После насыщения до полной влагоемкости и стока дренажа, субстрат содержит около 17-27% воздуха. Поддержание баланса «вода-воздух» в субстрате осуществляется с помощью корректировки поливных доз и объема дренажа — при увеличении поливной дозы и процента дренажа питательный раствор в мате быстрее обновляется, лучше происходит воздухообмен в корневой зоне.

Правильное использование законов научного земледелия и растениеводства - одно из обязательных условий программирования урожая:

- закон равнозначности и незаменимости факторов жизни растений;
- закон ограничивающего фактора (минимума);
- закон совокупного действия факторов жизни (закон оптимума);
- закон возврата в почву питательных веществ;
- закон плодосмена (необходимости соблюдения правильного чередования сельскохозяйственных культур в пространстве и во времени и соответствия растительного сообщества своему местообитанию);
- закон критического периода;
- закон физиологических часов;
- закон регуляторной системы растений

Законы научного земледелия играют важную роль в оптимизации сельскохозяйственных процессов:

1. **Закон минимума, оптимума и максимума.** Величина урожая зависит от фактора, который находится в минимуме. Наибольший урожай достигается при оптимальном воздействии факторов. При избыточном действии фактора урожай также снижается.

2. **Закон равнозначности и незаменимости факторов жизни растений.** Этот закон подчеркивает важность всех факторов, влияющих на рост

растений. Ни один из них не может быть полностью заменен другим, и все они взаимосвязаны в жизненных процессах растений

3. **Закон возврата веществ** в почву предусматривает, что все питательные вещества, которые взяты из почвы для создания урожая, или потерянные ею в силу других причин (вымывание, сорняки), должны быть возвращены путем внесения удобрений или с помощью других агротехнических приемов. Это правило гласит, что баланс питательных веществ в почве, нарушенный из-за потерь, следует восстановить, чтобы обеспечить плодородие почвы

4. **Закон плодосмена.** Более высокие урожаи получаются при чередовании культур в пространстве и во времени, чем при бессменных посевах. Это означает, что эффективное сельскохозяйственное производство возможно при условии, что выращиваемые культуры возделываются не бессистемно одна за другой, а в севообороте. При этом севооборот должен отвечать специфичным требованиям растений в отношении почвы и питательных веществ. Важно, чтобы плодородие почв не снижалось, а оставалось на прежнем уровне. Это предопределяет необходимость оценки севооборотов с точки зрения экономической эффективности.

5. **Закон критического периода в земледелии.** Этот закон связан с оптимальным временем для проведения определенных агротехнических мероприятий, таких как полив, подкормка и обработка почвы. Закон критического периода определяет, что важные фазы роста растений, такие как цветение и формирование плодов, требуют определенных ресурсов (например, влаги, питательных веществ). Если растения испытывают дефицит этих ресурсов в критический период, это может негативно повлиять на урожайность. Правильное управление агротехническими мероприятиями в этот период помогает достичь наилучших результатов.

6. **Закон “физиологических часов”.** Для растений одним из основных регулирующих факторов является фотопериодичность, то есть регулярность светового режима в каждой природной зоне. Этот закон описывает, как растения реагируют на продолжительность светового дня и ночи, что влияет на их физиологические процессы, такие как цветение, плодоношение и рост.

7. **Закон регуляторной системы растений** описывает механизмы, которые позволяют растениям взаимодействовать с окружающей средой и реагировать на изменения. Он включает в себя различные аспекты, такие как биосинтез фитогормонов, транспорт гормонов внутри растения и другие процессы.

- **фитогормоны (гормоны роста):** растения регулируют свой рост и развитие с помощью фитогормонов. Эти химические вещества влияют на различ-

ные процессы, такие как клеточное деление, рост корней, цветение и плодоношение. Примеры фитогормонов включают ауксины, цитокины, гиббереллины и абсцизовую кислоту;

- **транспорт гормонов:** фитогормоны передвигаются по растению, обеспечивая коммуникацию между разными органами. Например, ауксины транспортируются из верхушек побегов к корням, регулируя их рост и направление

- **роль окружающей среды:** закон регуляторной системы растений позволяет растениям непрерывно получать информацию из окружающей среды и реагировать на нее, изменяя внутренние процессы

8. **Закон Либиха.** Этот закон утверждает, что рост растений ограничивается тем элементом питания, который находится в минимальном количестве. Другими словами, даже если остальные элементы питания в избытке, рост растений будет замедлен, если один из них недостаточен.

9. **Закон Шелдона.** Согласно этому закону, рост растений зависит от наличия в почве всех необходимых макро- и микроэлементов. Если какой-либо элемент отсутствует, это может привести к дефициту и снижению урожайности.

10. **Закон Гербера.** Он утверждает, что урожайность растений определяется наименее благоприятным фактором. Например, если растения получают достаточно влаги и света, но недостаточно питательных веществ, урожайность будет ограничена.

11. **Закон Ван Хельмонта.** Этот закон гласит, что масса растения увеличивается за счет углерода из углекислого газа, а не из почвы. Это подчеркивает важность фотосинтеза.

## 2. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ БЕЛАРУСИ

*Распределение почв пахотных угодий по гранулометрическому составу и генетическому типу. Агрономическая оценка почв Беларуси. Уровень плодородия почв в зависимости от генетического типа и гранулометрического состава.*

В номенклатурном списке почв республики насчитывается 13 основных типов почв, включающих более 450 разновидностей. Типы почв: дерново-карбонатные, бурые лесные, подзолистые, дерново-подзолистые, дерновые заболоченные, дерново-подзолистые заболоченные, болотно-подзолистые, торфяно-болотные низинные, торфяно-болотные верховые, аллювиальные (пой-

менные) дерновые и дерновые заболоченные, аллювиальные (старопойменные) дерновые и дерновые заболоченные, аллювиальные болотные, антропогенно-преобразованные почвы. В структуре пахотных почв Республики Беларусь преобладают дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболоченные почвы, которые занимают 87,5 процента (табл.).

Таблица 8. – Распределение почв пахотных земель по типовой принадлежности в Беларуси, %

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

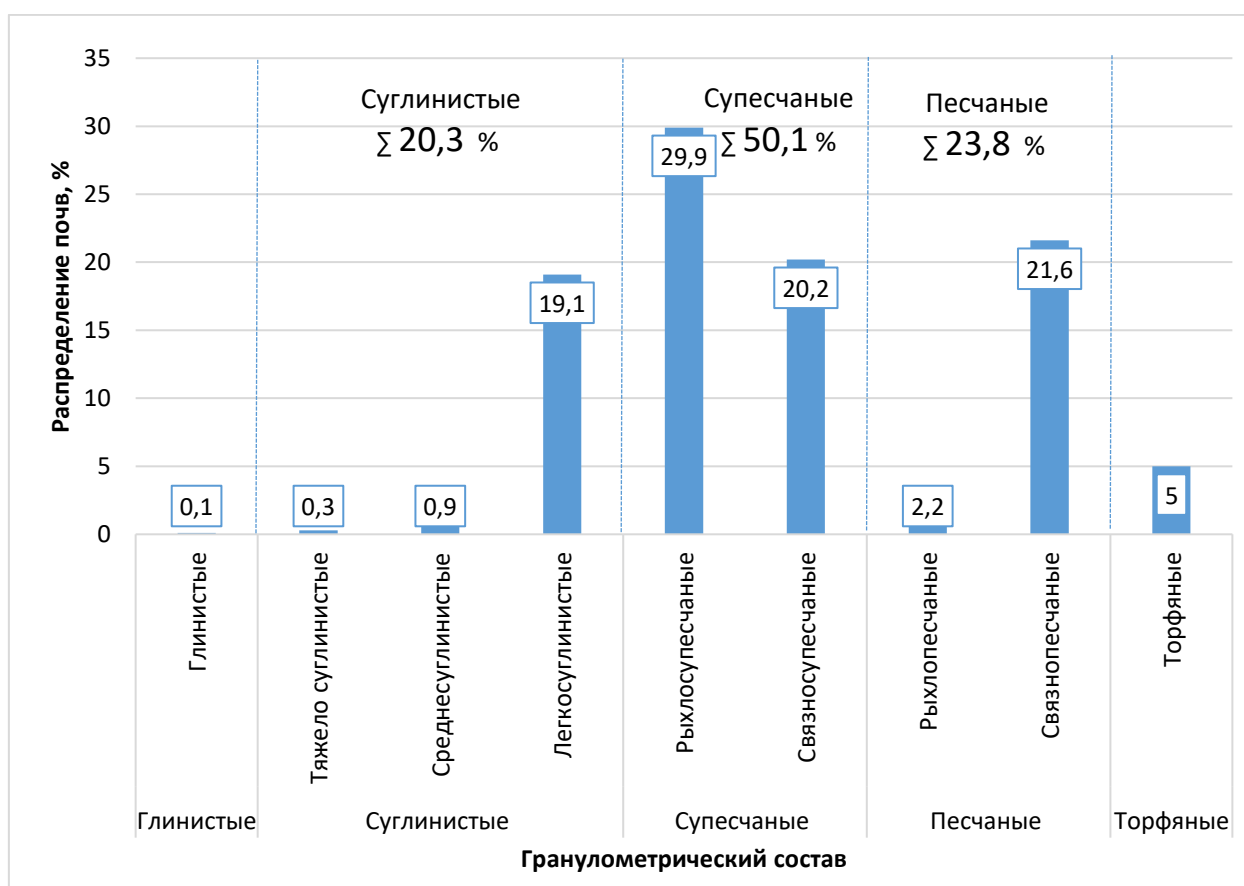
Гранулометрический состав почвы различается по регионам Беларуси (табл., рис.), оказывая влияние на удержание и наличие влаги в почве, на ее структуру, аэрацию, биоразнообразие, регулирует запасы питательных веществ.

В Беларуси по гранулометрическому составу почвы распределены следующим образом.

Таблица 9. – Распределение почв (пашня) Беларуси по гранулометрическому составу, %

Область	Глинистые	Суглинистые				Супесчаные			Песчаные			Торфяные
		всего	тяжелосуглини-	среднесуглини-	легкосуглини-	всего	рыхлосупесча-	связносупесча-	всего	рыхлосупесчаные	связносупесчаные	
Брестская	–	2,5	–	0,3	2,3	37,5	28,4	9,1	46,5	4,8	41,7	11,0
Витебская	0,6	51,6	1,7	4,7	45,2	39,2	11,3	27,9	6,7	6,5	0,1	1,6
Гомельская	–	3,4	–	0,3	3,1	36,1	22,4	13,8	51,5	1,2	50,3	8,2

Гродненская	0,2	3,5	0,2	0,1	3,2	80,8	59,2	21,6	15,2	0,2	14,9	0,3
Минская	–	24,5	–	0,2	24,2	54,1	30,0	24,1	12,4	0,3	12,1	7,9
Могилевская	–	36,4	–	–	36,4	52,6	28,0	24,7	10,2	0,1	10,1	0,7
В среднем по республике	0,1	20,3	0,3	0,9	19,1	50,1	29,9	20,2	23,8	2,2	21,6	5,0



**Рисунок. 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 табл. приведены результаты крупномасштабного агрохимического обследования почв на степень кислотности

Таблица 10. – Степень кислотности ( $pH_{KCl}$ ) пахотных почв Беларуси

Наименование областей	Доля площади по группам кислотности почвы $pH$ , %							Средне-взвешенное 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

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 %). 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, кормовых 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 таблице.

**Таблица 11. – Оптимальные значения реакции почвы для произрастания основных полевых культур**

Культуры	Оптимум рН	Культуры	Оптимум рН
Пшеница: яровая	6,0–7,5	Картофель	5,0–6,5
озимая	6,3–7,6	Свекла: сахарная	7,0–7,5
Рожь озимая	5,5–7,5	кормовая	6,2–7,5
Тритикале: яровая	5,5–7,0	Морковь	6,5–7,0
озимая	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	5,5–7,0	Клевер: луговой	6,0–7,5
желтый	5,0–6,0	белый	5,5–7,0
узколистный	5,0–6,5	Люцерна	7,0–8,0
		Тимофеевка луговая	5,5–7,5
Соя	6,0–7,0	Лисохвост луговой	6,0–7,5
Фасоль	6,5–7,8	Овсяница луговая	5,0–7,0
Сераделла	6,0–7,0	Ежа сборная	6,0–7,0
Рапс: озимый	6,0–7,5	Костер безостый	6,0–8,0
яровой	5,8–6,5	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. Значимость органических удобрений остается высокой, поскольку они являются незаменимым и повсеместно доступным источником пополнения запасов гумуса и элементов питания в почве.

**Таблица 12. – Содержание гумуса в почвах пахотных земель Беларуси**

Наименование областей	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

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). Распределение почв пахотных земель Беларуси по группам содержания подвижного фосфора приведено в таблице.

**Таблица 13. – Содержание подвижного фосфора в почвах пахотных**

## земель Беларуси

Наименование областей	Доля площади по группам обеспеченности P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %						Средневзвешенное содержание P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 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<sub>2</sub>O на кг супесчаных и 300 мг/кг суглинистых почв). Прибавка урожая озимой ржи, ячменя и озимой пшеницы на 1 кг K<sub>2</sub>O 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<sub>2</sub>O достигло уровня 222 мг/кг почвы (табл.).

**Таблица 14. – Содержание подвижного калия в почвах пахотных земель Беларуси**

Наименование областей	Доля площади по группам обеспеченности K <sub>2</sub> O, %						Средневзвешенное содержание K <sub>2</sub> O, 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.

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.

*Связь урожая сельскохозяйственных культур с гранулометрическим составом почв, их генетическим типом, агрохимическими и агрофизическими свойствами. Окультуривание пахотного слоя почвы и оптимизация условий почвенного питания как важнейшие составляющие метода программирования урожаев.*

Величины урожаев с.-х растений в зависимости от гранулометрического состава почв приведены в таблице.

**Таблица 15. – Расчетные урожаи основных сельскохозяйственных культур на почвах различного гранулометрического состава с учетом запаса влаги, ц/га**

Культура	Дерново-подзолистые почвы				Торфяно-болотные почвы
	суглинистые	супесчаные и песчаные, подстилаемые мореной	супесчаные, подстилаемые песками	рыхлопесчаные	
Озимая рожь	50-55	45-50	40-45	30-35	60-70
Озимая пшеница	55-60	50-55	45-50	35-40	65-80
Ячмень	60-75	55-65	50-60	40-50	75-95
Овес	50-60	45-55	40-45	30-40	65-75
Картофель	400-500	350-450	300-400	250-300	500-600
Сахарная свекла	500-600	450-500	400-500	300-350	600-750
Лен (волокно)	18-22	17-19	-	-	-

Для дерново-подзолистых почв Беларуси уровень плодородия почвы чаще всего выступает ограничивающим в получении высоких урожаев.

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.).

Действие удобрений, подбор сортов, выбор системы агротехнических приемов также тесно связаны с характером почв и оказывают воздействие на свойства почвы.

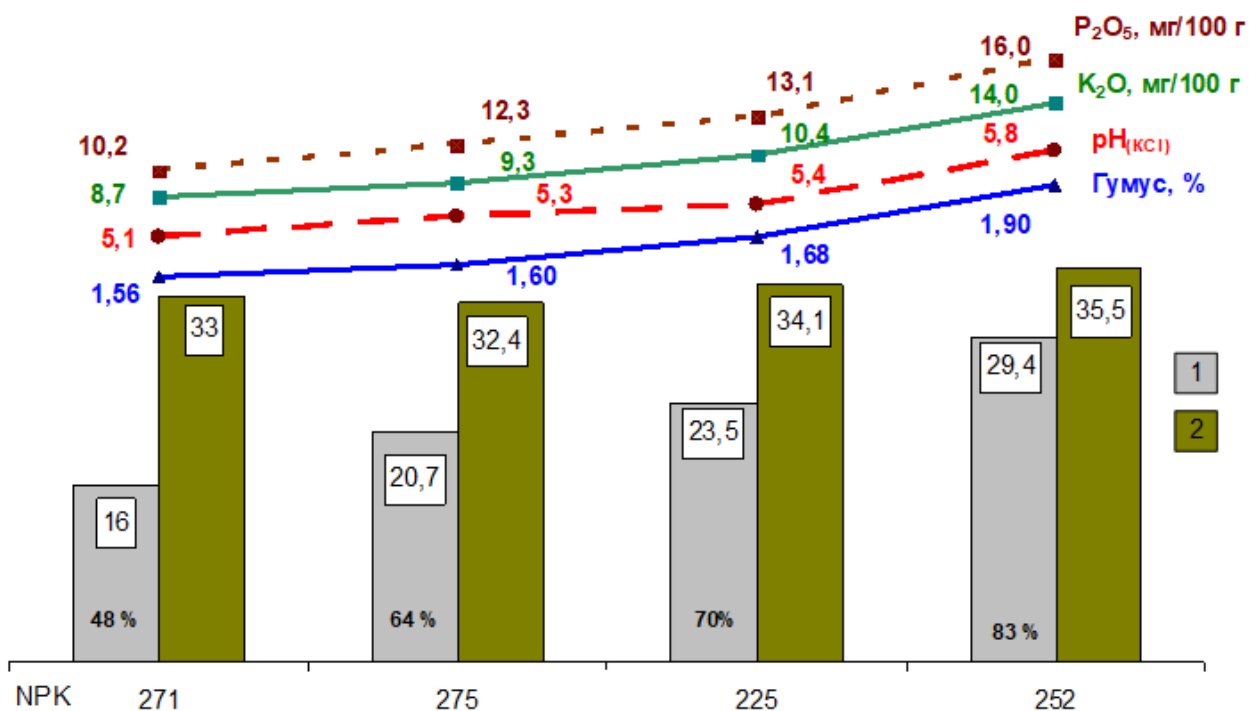


Рисунок. - Урожайность зерновых при разных агрохимических показателях: 1 – на контроле (без внесения удобрений), ц/га, %; 2 – при внесении удобрений, ц/га, %

Дерново-подзолистые почвы Беларуси отличаются низким уровнем плодородия.

Это связано со следующими условиями:

- значительная часть дерново-подзолистых почв характеризуется кислой реакцией почвенной среды. Количество кислых почв по отдельным регионам колеблется в пределах 60-80 %, что снижает урожай многих с.-х. культур;

- отмечается бедность почв органическим веществом. Низкое содержание гумуса обусловлено небольшими поступлениями в почву свежего органического вещества вследствие меньшего притока фотосинтетической радиации в данной зоне, а также и более интенсивными процессами его разложения в условиях нормального водного режима;

- бедность минералогического состава почвообразующих пород, особенно супесей и песков, ограничивает резервы минерального питания и вызывает необходимость регулирования баланса питательных веществ.

Эффективное использование удобрений и мелиорация земель открывают большие возможности для управления процессами плодородия почв и получения максимально возможных урожаев сельскохозяйственных культур.

К основным свойствам почвы также относят генетическое строение и гранулометрический состав почвы, от которых зависят процессы ее водного, воздушного, теплового и пищевого режимов.

Свойства материнской породы, наличие подзолистого или карбонатного горизонта, их гранулометрический состав и др. определяют комплекс физических, химических и биологических показателей плодородия почвы, соответствующие требованиям сельскохозяйственных растений.

*Бонитировка пахотных почв Беларуси и их оценка по пригодности для выращивания различных полевых культур.*

**Бонитировка пахотных почв** – это процесс оценки их плодородия с учетом свойств, которые влияют на урожайность сельскохозяйственных культур. В Беларуси проводится кадастровая оценка плодородия почв, которая учитывает оптимальное состояние почвы с точки зрения мелиорации, агрохимии и технической подготовки. Результаты оценки помогают определить пригодность почв для выращивания различных культур

Бонитировка почв (от латинского *bonitas* - доброкачественность) — сравнительная оценка качества почв, их потенциального плодородия и производительной способности.

Бонитет почв - показатель их качества, выраженный в баллах по отношению к почве с наиболее высоким потенциальным плодородием, балл которой принимается, обычно, равным 100%.

В агрономической практике уровень потенциального плодородия почвы чаще всего оценивается бонитировочным баллом, который отражает как природные свойства почвы (ее тип, строение, гранулометрический состав, завалунность, смывость 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 (табл.).

**Таблица 16. – Средние нормативы цены балла плодородия почвы и окупаемости удобрений прибавкой урожая сельскохозяйственных культур**

Культуры	Вид продукции	Цена балла почвы, кг	Дозы удобрений		Оплата, кг продукции	
			органических, т/га	НРК, кг/га	1 т органики	1 кг НРК
Зерновые в целом	Зерно	50	–	200–300	–	6,2
Озимая рожь	Зерно	52	30	200–250	25	6,1
Озимая пшеница	Зерно	63	30	250–300	25	7,8

Озимая тритикале	Зерно	65	30	250–300	25	8,0
Яровая пшеница	Зерно	52	–	200–250	–	6,0
Яровая тритикале	Зерно	55	–	200–250	–	6,5
Ячмень	Зерно	54	–	200–250	–	6,5
Овес	Зерно	55	–	200–250	–	6,0
Люпин	Зерно	37	–	160–200	–	4,4
Горох	Зерно	37	–	160–200	–	3,9
Вика	Зерно	30	–	160–200	–	2,6
Гречиха	Зерно	19	–	180–220	–	2,3
Рапс	Семена	25	–	250–300	–	3,2
Лен-долгунец	Волокно	20	–	160–200	–	2,7
Картофель	Клубни	332	50–60	200–300	105	27
Сахарная свекла	Корни	438	60–70	300–350	125	39
Кормовые корне- плоды	Корни	883	60–80	300–350	200	73
Кукуруза	Зеленая масса	469	60–80	250–300	190	86
Однолетние травы	Зеленая масса	265	–	150–200	–	48
Многолетние травы	Сено	106	–	150–200	–	16,6
	Зеленая масса	365	–		–	70
Все культуры на пашне	Кормовые единицы	65	–	200–250	30	8,8
Сенокосы и пастбища	Сено	70	–	150–200	–	14,3
	Зеленая масса	350	–		–	72

Сельскохозяйственные культуры, благодаря своим биологическим особенностям по-разному реагируют на свойства почв. Одни из них очень чувствительны и требовательны к условиям произрастания и дают хороший урожай только на плодородных почвах, другие – менее требовательны и могут давать неплохие урожаи на разных по плодородию почвах.

Среди культур, возделываемых в республике, более требовательными к почвенным условиям являются озимая и яровая пшеница, ячмень, озимое тритикале, рапс, лен, сахарная свекла, многолетние травы, менее требовательными – озимая рожь, овес, картофель, люпин, однолетние травы.

Однако каждая из этих культур не может выращиваться на всех пригодных почвах. Необходимо соблюдать чередование культур в севооборотах, а также допустимые сроки возврата их на прежнее поле по фитосанитарным условиям. Например, озимую рожь и овес можно возделывать на прежнем поле через 1–2 года; яровую пшеницу, ячмень – через 2–3 года; лен, сахарная свекла – через 3–4 года; рапс – через 4–5 лет. Поэтому возможная посевная площадь будет значительно меньше, чем площадь пригодных почв.

В северной почвенно-географической провинции почв, пригодных для

возделывания зерновых культур достаточно. Однако следует отметить, что возможная площадь посева озимых значительно ниже, чем яровых, что объясняется большей долей переувлажненных почв в составе пашни. Так, площадь почв, пригодных для возделывания озимой пшеницы и тритикале, здесь составляет только 39,7 %, озимой ржи – 46,3 %. В то же время наличие почв, пригодных для возделывания яровых зерновых культур, составляет 73,4–83,1 %. Достаточно площадей почв, пригодных для возделывания рапса, льна и картофеля. В связи с недостаточностью тепла сахарную свеклу здесь не рекомендуется возделывать.

В центральной почвенно-географической провинции наличие пригодных почв для возделывания зерновых культур следующее: озимой ржи – 59,3 %, озимых пшеницы и тритикале – 44,5 %, ячменя, пшеницы и зернобобовых – 68,0 %, овса – 87,3 %. Условия для возделывания картофеля и кукурузы здесь более благоприятные. Хорошие условия и для выращивания льна. В западных и юго-западных районах имеются свеклопригодные почвы.

Южная почвенно-географическая провинция занимает южную часть республики, где преобладают легкие (песчаные и рыхло супесчаные) и осушенные торфяно-болотные почвы. Здесь уменьшается площадь для посева требовательных зерновых культур по сравнению с северной и центральной. Однако здесь увеличивается площадь почв, пригодных под картофель, кукурузу и рапс. Возможная площадь посева сахарной свеклы – самая высокая среди всех провинций республики. Здесь имеются большие площади и для возделывания льна. На заболоченных и маломощных торфяно-болотных почвах необходимо возделывать многолетние травы, адаптированные к таким почвам, что, наряду с наличием естественных луговых угодий, будет способствовать дальнейшему развитию мясо-молочного скотоводства.

*Особенности и характер климата. Радиационные ресурсы, режим и распределение солнечной радиации по регионам республики. Поступление общей и фотосинтетически активной радиации. Возможная продуктивность агрофитоценозов при различном уровне использования приходящей фотосинтетически активной радиации. Степень соответствия количественных показателей почвенно-климатических факторов жизни растений (в различных регионах Беларуси) биологическим требованиям соответствующих видов растений.*

*Особенности и характер климата.* Для Республики Беларусь характерен умеренно континентальный климат, формирующийся под влиянием воздушных масс Атлантики. Характеризуется дождливым нежарким 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°C на севере до +18,5°C на юге. Средняя температура в январе колеблется от -4,5°C на юго-западе до -8°C 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.

Количественные характеристики факторов жизни растений в конкретных регионах различны. Согласно агроклиматическим зонам Беларуси климатические зоны различаются по ряду показателей: количеством тепла и влаги в вегетационный период, условиями перезимовки сельскохозяйственных культур и др.



**Сумма температур воздуха выше 10°C**



## **Границы климатических областей Беларуси: I–Северная, II–Центральная, III–Южная, IV–Новая**

### **Рисунок. Агроклиматические зоны Республики Беларусь**

Северная область характеризуется достаточным и избыточным увлажнением почв, вегетационным периодом 180 – 189 суток, средними температурами воздуха в июле  $17,2^{\circ}$ — $18^{\circ}$ , в январе от  $-6,5^{\circ}$  до  $-8,5^{\circ}$  °С.

Центральная область отличается умеренным увлажнением, более мягким климатом, вегетационным периодом 184 – 200 суток и средней температурой в июле от  $+17,5^{\circ}$  до  $+18,7^{\circ}$ , в январе от  $-4,9^{\circ}$  до  $-8,2^{\circ}$  °С.

В южной области более длительный вегетационный период – 190 – 208 суток, мягкие, короткие зимы и неустойчивое увлажнение.

Новая область на юге Беларуси характеризуется самым коротким и теплым зимним периодом, наиболее длительным вегетационным, неустойчивым увлажнением, частыми и продолжительными засухами, от которых страдают растения особенно на супесчаных и песчаных почвах.

*Радиационные ресурсы, режим и распределение солнечной радиации по регионам республики. Поступление общей и фотосинтетически активной радиации.*

Солнечная радиация — электромагнитное и корпускулярное излучение Солнца. Электромагнитная составляющая солнечной радиации распространяется со скоростью света и проникает в земную атмосферу. До земной поверхности солнечная радиация доходит в виде прямых и рассеянных лучей. Спектральный диапазон электромагнитного излучения Солнца очень широк – от радиоволн (солнечные радио-всплески) до рентгеновских лучей – однако максимум его интенсивности приходится на видимую (жёлто-зелёную) часть спектра.

Существует также корпускулярная часть солнечной радиации, состоящая преимущественно из протонов, движущихся от Солнца со скоростями 300—1200 км/с. Во время солнечных вспышек образуются также частицы больших энергий (в основном протоны и электроны), образующие солнечную компоненту космических лучей.

Энергетический вклад корпускулярной составляющей солнечной радиации в её общую интенсивность невелик по сравнению с электромагнитной. Подавляющая доля частиц задерживается атмосферой Земли либо поглощается верхними слоями земной атмосферы, поэтому в ряде приложений термин

«солнечная радиация» используют в узком смысле, имея в виду только её электромагнитную часть.

Солнечная радиация — главный источник энергии для всех физико-географических процессов, происходящих на земной поверхности и в атмосфере.

Солнечной радиации подвергается дневная сторона поверхности Земли. Солнечная радиация полностью не блокируется облачностью, и частично достигает поверхности Земли при любой погоде в дневное время за счёт прозрачности облаков для тепловой компоненты спектра солнечной радиации.

Количество поступающей солнечной радиации зависит от смены времён года — в настоящее время мощность солнечной радиации, поступающей на Землю, остаётся практически постоянной, но на широтах 65 С. Ш. (широта северных городов России, Канады) летом мощность солнечной радиации, отнесённая к единице поверхности, примерно на порядок больше, чем зимой. Это происходит из-за того, что ось вращения Земли по отношению к плоскости орбиты наклонена под углом  $23,3^\circ$ . Избыток радиации летом и недостаток зимой взаимно компенсируются (если не учитывать эксцентриситет земной орбиты), но, с приближением места наблюдения к полюсам, разрыв между зимой и летом становится всё более существенным. Так, на экваторе разницы между зимой и летом практически нет. За Полярным кругом же, прямые лучи Солнца не достигают поверхности в течение полугода. Таким образом формируются особенности климата различных регионов Земли. Кроме того, периодические изменения эксцентриситета орбиты Земли могут приводить к возникновению различных геологических эпох: к примеру, ледникового периода.

Количество солнечной радиации обусловлено углом падения солнечных лучей и протяжённостью дня. Угол падения солнечных лучей на севере Беларуси более острый, чем на юге, на протяжении всего года. Продолжительность дня летом на севере страны больше, чем на юге, на 1 ч 10 мин, а зимой день на полчаса длиннее на юге. Поэтому количество солнечной радиации летом мало отличается по всей территории Беларуси, зимой же южные районы получают её больше. Суммарная солнечная радиация увеличивается с севера на юг. Суммарная солнечная радиация — излучение Солнцем света и тепла, достигающее земной поверхности непосредственно от Солнца и небосвода. Годовая суммарная радиация в северных районах составляет около  $3600 \text{ МДж/м}^2$ , в южных районах — более  $4000 \text{ МДж/м}^2$ . Поступление солнечной радиации сильно изменяется на протяжении года. Солнечной радиации в июне поступает почти в 15 раз больше, чем в декабре. Летом преобладает прямая солнечная радиация (50–55 % от суммарной). Зимой и осенью 70–80 % составляет доля рассеянной солнечной радиации. Прямая солнечная радиация — радиация, которая дохо-

дит до земной поверхности непосредственно от Солнца в виде пучка параллельных лучей. Рассеянная солнечная радиация – радиация, которая рассеивается в атмосфере и поступает на земную поверхность от всего небосвода. Солнечная радиация, поступающая на земную поверхность, расходуется на её нагревание и на испарение влаги, частично отражается. Разница прихода и расхода энергии называется радиационным балансом. Зимой земная поверхность получает мало солнечной радиации, поэтому радиационный баланс отрицательный. В Беларуси он увеличивается с северо-востока на юго-запад от 1500 до 1900 МДж/м<sup>2</sup>.

Данные суммарной солнечной радиации приведены в таблице, выражаются в килокалориях или килоджоулях энергии, приходящей на 1 см<sup>2</sup> поверхности.

Таблица 17. – Месячные и годовые суммы суммарной солнечной радиации, ккал/см<sup>2</sup>

Метеостанции	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	За год
Полоцк	1,4	3,0	7,1	9,4	13,2	14,9	14,4	10,7	6,9	13,2	1,3	1,0	86,5
Шарковщина	1,4	3,1	7,3	9,7	13,4	15,0	14,4	10,8	7,1	3,5	1,3	1,0	88,0
Витебск	1,4	3,0	7,3	9,8	13,8	15,2	14,7	10,9	7,2	3,4	1,4	1,0	89,1
Минск	1,6	3,3	7,4	9,7	13,8	15,2	14,5	11,0	7,5	3,9	1,6	1,0	90,5
Слуцк	1,9	3,4	7,3	10,5	14,7	15,7	15,7	15,1	8,2	4,3	1,7	1,3	96,1
Гродно	1,5	3,2	7,4	10,0	13,4	14,3	14,4	11,2	7,7	4,1	1,6	1,2	90,0
Новогрудок	1,6	3,3	7,4	10,3	14,1	15,3	14,9	11,4	7,8	4,1	1,6	1,0	92,8
Горки	1,6	3,3	7,1	10,0	13,8	15,5	15,1	11,3	7,2	3,7	1,6	1,0	91,2
Костюковичи	1,7	3,2	7,1	10,4	14,0	15,1	14,8	11,5	7,7	4,0	1,7	1,1	92,3
Пинск	2,0	3,4	7,9	10,9	14,2	15,2	14,9	12,4	8,4	4,6	1,7	1,3	96,9
Брест	2,1	3,5	7,6	10,4	14,4	15,1	15,3	12,0	8,8	5,0	1,8	1,4	97,4
Василевичи	1,9	3,1	6,9	9,8	13,6	14,5	14,1	11,4	7,7	4,2	1,6	1,2	90,0

Фотосинтетически активной является видимая (световая) часть (длина волны 380–710 нм) всей приходящей солнечной радиации. Количество приходящей суммарной ФАР зависит от времени года, региона и также выражается в килокалориях или килоджоулях энергии, приходящей на 1 см<sup>2</sup> поверхности

(поля, Земли вообще). Данные о количестве приходящей ФАР по временам года в том или ином регионе приведены в таблице.

Таблица 18. – Приход суммарной фотосинтетически активной радиации, ккал/см<sup>2</sup>

Метеостанции	Месяц												За год	Σ радиации за вегетационный период с t более	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		5°	10°
Полоцк	0,8	1,6	3,7	4,9	7,0	7,8	7,5	5,7	3,7	1,8	0,7	0,6	45,8	35,7	29,9
Шарковщина	0,8	1,7	3,8	5,1	7,0	7,9	7,5	5,8	3,8	1,8	0,7	0,6	46,5	36,2	30,9
Витебск	0,8	1,6	3,9	5,1	7,2	7,9	7,5	5,7	3,8	1,8	0,8	0,6	46,7	36,3	31,0
Минск	0,8	1,8	3,9	5,2	7,2	8,0	7,5	5,8	4,0	2,1	0,9	0,6	47,8	37,3	31,4
Слуцк	1,0	1,9	3,9	5,5	7,6	8,1	7,8	6,3	4,3	2,3	0,9	0,7	50,3	39,8	34,3
Гродно	0,8	1,8	3,9	5,3	7,0	7,7	7,6	5,9	4,1	2,2	0,9	0,6	47,8	38,2	32,6
Новогрудок	0,8	1,8	3,8	5,4	7,3	8,0	7,8	6,0	4,1	2,2	0,9	0,6	48,7	38,6	31,9
Горки	0,8	1,8	3,9	5,3	7,2	8,1	7,7	6,0	3,8	2,0	0,9	0,6	48,1	37,2	31,1
Костюковичи	0,9	1,8	3,8	5,5	7,3	7,9	7,7	6,0	4,1	2,1	0,9	0,6	48,6	37,9	32,7
Пинск	1,2	1,8	4,2	5,7	7,5	8,1	7,9	6,5	4,4	2,5	1,0	0,8	51,6	41,4	35,7
Брест	1,2	1,8	4,1	5,5	7,6	8,0	8,0	6,4	4,6	2,6	1,0	0,8	51,6	41,7	36,3
Василевичи	1,1	1,7	3,6	5,2	7,1	7,6	7,4	5,9	4,0	2,2	0,9	0,7	47,4	37,4	32,5

*Возможная продуктивность агрофитоценозов при различном уровне использования приходящей фотосинтетически активной радиации.*

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;
- 1,5 – 3,0 % – средний;
- 3,0 – 5,0 % – высокий;
- 5,0 – 7,0 % – очень высокий;

7,0 – 10,0 % – теоретически возможный.

Листья растений поглощают в процессе фотосинтеза не весь световой поток, а фотосинтетически активную радиацию (ФАР) – фотосинтетически активные лучи с длиной волны 400-700 нм (нанометров). Именно эти лучи хорошо поглощаются зеленым пигментом хлоропластом – хлорофиллом и являются энергетической основой фотосинтеза. Однако современные растения используют лишь небольшую долю ФАР: 1- 3% ФАР; посевы с рекордными урожаями – до 4-5% ФАР.

Важным условием для максимального использования ФАР является создание посевов с оптимальной ассимилирующей площадью листьев. Оптимальной принято считать такую площадь листьев, которая обеспечивает максимальный газообмен посева. По данным многих исследований у сельскохозяйственных культур оптимальная площадь листьев варьирует в пределах 20-70 тыс. м<sup>2</sup>/га.

Необходимо разрабатывать такую агротехнику, при которой площадь листьев быстрее достигала бы оптимальной величины и как можно дольше сохранялась работоспособность листьев. Обобщенный показатель их работоспособности называется фотосинтетическим потенциалом (ФП). ФП посева вычисляется как сумма показателей площади листьев на гектар посева за каждый день вегетации или отдельные ее отрезки.

Опытами И. С. Шатилова установлено, что для получения 100 ц/га зерна кукурузы необходимо сформировать ФП, равный 3,0-3,5 млн. единиц, что обеспечивается при достижении площади листьев 45-50 тыс. м<sup>2</sup>/га (53-55 тыс. м<sup>2</sup>/га). Поэтому заблаговременно до посева должен быть составлен график нарастания площади листьев и фотосинтетического потенциала посевов. Исследования показывают, что солнечную радиацию лучше аккумулируют растения с высоким и ярусным расположением листьев, причем сорта с острым углом прикрепления листьев способны полнее утилизировать ее. Например, у кукурузы листья расположены вертикально и даже при большой густоте стояния каждое растение получает достаточно солнечных лучей.

В таблице представлена сумма фотосинтетически активной радиации и возможная биологическая урожайность культур на различных географических широтах.

**Таблица 19. – Сумма фотосинтетически активной радиации и возможная биологическая урожайность на различных географических широтах**

Географическая широта	Приход ФАР, млрд. ккал/га	5 % возможного прихода, млн. ккал/га	Возможные биологические урожаи, т/га
0–10	9–6	450–300	113–75
10–20	8–5	400–250	100–62
20–30	7–4,8	350–240	88–60
30–40	4,8–3,2	240–160	60–40
40–50	3,2–2,0	160–100	40–25
50–60	2,2–1,8	110–90	27–23
60–70	2,0–1,2	100–60	25–15

*Тепловые ресурсы климата и теплообеспеченность сельскохозяйственных растений по регионам Беларуси.*

Среднегодовые температуры 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 – -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.

Суммы средних суточных температур воздуха выше 5,10,15 °С приведены в таблице.

**Таблица 20. – Суммы средних суточных температур воздуха выше 5, 10 и 15 °С за год**

Название станции	5°	10°	15°	Название станции	5°	10°	15°
<b>Витебская область</b>							
Верхнедвинск	2438	2107	1306	Докшицы	2387	2066	1205
Езерище	2355	2017	1149	Лепель	2512	2173	1424
Полоцк	2450	2116	1366	Сенно	2506	2188	1451
Шарковщина	2488	2183	1354	Орша	2514	2211	1482
Витебск	2492	2196	1365	Славное	2443	2142	1361
Лынтупы	2402	2068	1172				
<b>Минская область</b>							
Вилейка	2541	2240	1419	Березино	2577	2296	1552

Молодечно	2571	2249	1447	Негорелое	2502	2152	1340
Борисов	2572	2246	1544	Марьина Горка	2251	2220	1438
Логойск	2503	2189	1375	Несвиж	2678	2316	1622
Радощковичи	2479	2146	1255	Старые Дороги	2632	2327	1568
Воложин	2497	2185	1338	Марьины Сосны	2607	2259	1494
Минск	2517	2210	1386	Слуцк	2624	2318	1513
<b>Гродненская область</b>							
Лида	2599	2249	1504	Волковыск	2736	2375	1662
Гродно	2704	2341	1580	Слоним	2632	2275	1479
Новогрудок	2483	2149	1294	Свислочь	2666	2304	1461
<b>Могилевская область</b>							
Горки	2463	2167	1386	Жорновка	2548	2221	1454
Кричев	2559	2252	1574	Славгород	2623	2316	1626
Суша	2559	2234	1534	Осиповичи	2698	2370	1675
Чериков	2586	2271	1577	Бобруйск	2661	2340	1647
<b>Брестская область</b>							
Барановичи	2658	2336	1604	Крестуново	2734	2424	1653
Ганцевичи	2643	2313	1595	Пинск	2833	2497	1808
Ивацевичи	2739	2407	1665	Брест	2919	2566	1888
Пружаны	2751	2416	1649	Домачево	2875	2506	1795
Высокое	2811	2481	1738				
<b>Гомельская область</b>							
Чечерск	2686	2382	1677	Калинковичи	2799	2484	1852
Жлобин	2718	2380	1751	Петриков	2804	2481	1796
Гомель	2735	2436	1776	Лельчицы	2788	2441	1790
Василевичи	2740	2414	1752	Брагин	2732	2418	1752
Житковичи	2747	2436	1707	Комарин	2942	2644	2042

Продолжительность периода вегетации и сумма активных температур основных сельскохозяйственных культур, возделываемых в Беларуси приведены в таблице.

**Таблица 21. – Биолого-экологические характеристики основных сельскохозяйственных культур**

Культуры	Группа спелости*	Продолжительность периода вегетации, дн.	Сумма активных (выше 10 °С) температур	Засухоустойчивость	Фотопериодическая реакция
<b>Зерновые культуры</b>					
Пшеница озимая**	1	80–100	1200–1600	Средняя	Продолжительная
	2, 3	100–120	1600–2000		
Пшеница яровая	1, 2, 3	80–100	1200–1600	Средняя	Продолжительная
	4, 5	100–120	1600–2000	Средняя	Продолжительная

Рожь озимая	1, 2	80–100	1200–1600	Слабая	Длинно-дневная
	3	100–120	1600–2000		
Ячмень	1, 2	60–80	800–1200	Средняя	Длиннодневная
	3, 4, 5	80–100	1200–1600		
Овес	1	60–80	800–1200	Слабая	Длиннодневная
	2, 3, 4	80–100	1200–1600		
	5	100–120	1600–2000		
Гречиха	1	60–80	800–1200	Слабая	Короткодневная
Кукуруза	1	100–120	2000–2200	Средняя	Короткодневная
	2, 3	120–140	2200–2600		
	4, 5	140–160	2600–3200		
Просо	1, 2	60–80	1100–1300	Повышен- ная	Короткодневная
	3, 4	80–100	1300–1600		
	5	100–120	2000–2400		
Сорго	1, 2	100–120	2000–2400	Повышен- ная	Короткодневная
	3, 4	120–140	2400–2800		
	5	140–160	2800–3200		
Горох	1	60–80	800–1200	Слабая	Длиннодневная
	2, 3, 4	80–100	1200–1600		
	5	100–120	1600–2000		
Люпин (си- ний, жел- тый)	5	100–120	1600–2000	Слабая	Длиннодневная
Бобы кор- мовые	1	100–120	1200–1600	Слабая	Длиннодневная
	2,3	120–140	1600–2000		
Вика яровая	1	80–100	1200–1600	Повышен- ная	Длиннодневная
	2,3	100–120	1600–2000		
Соя	1	100–120	2000–2400	Требова- тельна к влаге	Короткодневная
	2	120–140	2400–2800		
	3	140–160	2800–3200		
<b>Корнеплоды и клубнеплоды</b>					
Свекла	1	100–120	1600–2000	Относи- тельно засу- хоустой- чива	Длиннодневная
	2	120–140	2000–2400		
	3	140–160	2400–2800		
Морковь	1	100–120	1600–2000	Относи- тельно засу- хоустой- чива	Длиннодневная
	2	120–140	2000–2400		
	3	140–160	2400–2800		
Картофель	1	60–80	1000–1200	Средняя	Короткодневная
	2	80–100	1200–1600		
	3	100–120	1600–2000		
Рапс: яро- вой		80–110	1900–2100	Влаголюби- вые куль- туры	Длиннодневная
ози- мый		130–180	2400–2800		

\*1 – скороспелые; 2 – среднеранние; 3 – среднеспелые; 4 – среднепоздние; 5 – позднеспелые.

\*\* Только период активного роста.

Необходимо отметить, что тепловые ресурсы Беларуси подходят для выращивания большинства растений, приведенных в таблице. При правильном подборе сортов по регионам выращивания, соблюдении технологии возделывания можно получать высокие урожаи основных полевых культур, возделываемых в хозяйствах.

*Ресурсы влаги и влагообеспеченность сельскохозяйственных растений. Продуктивность агрофитоценозов в зависимости от теплообеспеченности и увлажненности почв. Степень соответствия количественных показателей почвенно-климатических факторов жизни растений (в различных регионах Беларуси) биологическим требованиям соответствующих видов растений.*

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 выпадает меньшее количество осадков, относят к зонам рискованного земледелия.

В Беларуси за год выпадает в среднем 600-700 мм в зависимости от региона. Представленные в таблице средние многолетние данные по количеству выпадающих осадков в период активной вегетации и гидротермический показатель (ГТК) дают возможность оценить условия влагообеспеченности той или иной культуры.

**Таблица 22. – Характеристика условий увлажнения вегетационного периода (со среднесуточной температурой выше 10 °С)**

Номер и название станции	Сумма осадков	ГТК	Номер и название станции	Сумма осадков	ГТК
<b>Витебская область</b>					
2 Верхнедвинск	313	1,5	10 Докшицы	350	1,7
3 Езерище	347	1,7	11 Лепель	350	1,6
5 Полоцк	325	1,5	12 Сенно	325	1,5
7 Шарковщина	315	1,4	13 Орша	347	1,6
8 Витебск	345	1,6	14 Славное	348	1,6
9 Лынтупы	362	1,8			
<b>Минская область</b>					
16 Вилейка	347	1,5	23 Березино	353	1,5
17 Молодечно	337	1,5	25 Негорелое	343	1,6
18 Борисов	350	1,5	26 Марьина Горка	326	1,6
19 Логойск	328	1,5	30 Старые Дороги	344	1,5
20 Радошковичи	336	1,6	31 Слуцк	324	1,4

21 Воложин	356	1,6	34 Марьины Сосны	323	1,4
22 Минск	346	1,6			
<b>Гродненская область</b>					
38 Беякони	357	1,7	44 Волковыск	302	1,3
40 Лида	330	1,5	45 Слоним	332	1,5
41 Гродно	314	1,3	46 Свислочь	339	1,5
42 Новогрудок	383	1,8			
<b>Могилевская область</b>					
48 Горки	338	1,6	54 Чериков	338	1,5
50 Могилев	333	1,5	57 Славгород	315	1,4
52 Кричев	312	1,4	58 Костюковичи	316	1,4
53 Суша	331	1,5	60 Бобруйск	334	1,4
<b>Брестская область</b>					
61 Барановичи	368	1,6	65 Высокое	317	1,3
62 Ганцевичи	350	1,5	66 Крестуново	352	1,5
63 Ивацевичи	340	1,4	69 Пинск	326	1,3
64 Пружаны	338	1,4	70 Брест	326	1,3
<b>Гомельская область</b>					
74 Чечерск	353	1,5	81 Калинковичи	332	1,3
75 Жлобин	340	1,4	82 Петриков	320	1,3
77 Гомель	329	1,4	85 Лельчицы	320	1,3
79 Василевичи	338	1,4	86 Брагин	297	1,2
80 Житковичи	338	1,4	88 Комарин	299	1,1

Гидротермический коэффициент (ГТК) характеризует влагообеспеченность района. Определяется по формуле:

$$\text{ГТК} = \frac{r}{0,1 \times \sum t}, \quad \text{где}$$

$r$  – сумма осадков за период со среднесуточными температурами воздуха выше  $10^\circ\text{C}$ , мм

$\sum t$  – сумма температур за этот же период,  $^\circ\text{C}$

Чем ниже ГТК, тем засушливее регион, а показатель ГТК менее единицы уже свидетельствует о засушливости климата.

Таким образом, обладая информацией о количественных показателях почвенно-климатических факторов жизни растений в различных регионах и о биологических требованиях культуры можно оценить целесообразность её выращивания в том или ином регионе.

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.

### 3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ И МЕТОДИКА ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ

*Потенциально возможная урожайность. Климатически обеспеченная урожайность. Действительно возможная урожайность. Ресурсо- и технологически обеспеченная (программируемая) урожайность. Урожайности в производстве.*

*Онтогенез сельскохозяйственных растений как биологическая основа программированного возделывания сельскохозяйственных растений. Особенности индивидуального развития различных видов сельскохозяйственных растений. Элементы структуры урожая; биологические закономерности их формирования на различных фазах развития и этапах органогенеза. Генетический потенциал сортов.*

*Биологический контроль в растениеводстве. Управление формированием элементов структуры урожайности в течение вегетационного периода.*

*Прогнозирование, планирование и программирование урожайности. Сбор и накопление информации об объектах программирования и количественных характеристиках факторов жизни растений. Прогностические расчеты. Определение доз удобрений на программируемый урожай. Разработка и практическая реализация технологии возделывания сельскохозяйственных культур для получения программируемого урожая. Оценка и анализ результатов.*

*Типы моделей. Балансовые модели урожая, математико-статические и динамические имитационные модели формирования урожайности.*

*Агротехнические основы программирования урожайности. Компенсация недостающего количества факторов жизни растений через приемы агротехники. Разработка технологической схемы возделывания полевых культур для получения программируемого урожая.*

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 средне-многолетние 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.

В учебной работе основными источниками информации будут служить задания, выдаваемые преподавателем, отчеты студентов о прохождении производственной практики, справочники, а также Государственные реестры сортов, отраслевые регламенты, учебная литература, методические указания по выполнению курсовой работы.

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 урожаев 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.

Для прогнозирования урожайности используют целый ряд методов. Чаще всего прибегают к методам экспертных оценок, аналогий, математико-статистических моделей, методам, основанным на использовании обобщенных агроклиматических и почвенных показателей, показателей элементов структуры урожая.

В основе метода экспертных оценок лежит профессионализм, опыт, видение явления специалистами.

Метод аналогий реализуется путем сравнительного анализа и оценки определенных явлений и событий, например: проведение аналогий между возможностями сходных полей, участков, урожайностью, полученной в сходные по метеоусловиям годы.

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<sub>w</sub>). Методика определения КОУ<sub>w</sub> 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.

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 наряду с расчетами предполагает сравнительную оценку результатов всех расчетов, их агрономический анализ и выбор. Эти результаты по прогнозированию урожайности, не являются абсолютными. Однако они очерчивают границы, внутри которых растения реализуют свой урожайный потенциал.

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 раз-

рабатываемой 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 занимает 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.

### **3.1 Программирование урожайности озимых зерновых культур**

*Методика расчета потенциального, климатически обеспеченного (по уровню обеспеченности влагой, теплом), действительно возможного, программируемого урожая озимых зерновых культур. Расчеты доз удобрений под программируемый урожай. Математические модели урожая озимых зерновых культур по элементам структуры.*

На примере культуры **пшеница озимая**

Исходные данные:

Сев 05.09, уход в зиму 16.10, выход из зимы 10.04, уборка 20.07

Предшественник рапс озимый. Почва дерново-подзолистая, легкосуглинистая, подстилаемая моренным суглинком с глубины 0,8 м. Содержание гумуса – 2 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 150 мг/кг, K<sub>2</sub>O – 150 мг/кг, рН – 6,0, балл пашни – 30. Глубина залегания грунтовых вод 1,6 м

*Методика расчета уровня потенциальной 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:

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

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

$\sum Q_{\text{фар}}$  – приход суммарной ФАР за период вегетации культуры 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;

1,5 – 3,0 % – средний;

3,0 – 5,0 % – высокий;

5,0 – 7,0 % – очень высокий;

7,0 – 10,0 % – теоретически возможный.

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

$K_{\text{фар}}$  – для расчета 3%

$q$  – 4450 ккал/кг

$\sum Q_{\text{фар}}$  – расчётное, исходя из прихода суммарной за вегетацию (согласно справочным изданиям)

Таблица 23. – **Приход суммарной фотосинтетически активной радиации, ккал/см<sup>2</sup>, метеостанция г.Горки**

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

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

$$ПУ = \frac{\sum Q_{\text{фар}} \times K_{\text{фар}}}{10^4 \times q} = \frac{23,8 \times 10^8 \text{ ккал/га} \times 3\%}{10^4 \times 4450 \text{ ккал/га}} = 160,5 \text{ ц/га}$$

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

$$ПУ_{\text{ст.вл}} = \frac{ПУ}{100 - В_{\text{ст}}} \times 100 = \frac{160,5 \text{ ц/га}}{100 - 14\%} \times 100 = 186,6 \text{ ц/га}$$

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:

$$ПУ_{\text{хоз.}} = \frac{ПУ}{(100 - В_{\text{ст}}) \times C} \times 100 = \frac{160,5 \text{ ц/га}}{(100 - 14\%) \times 2,4} \times 100 = 77,7 \text{ ц/га}$$

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

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

$$\begin{aligned} ПУ_{\text{хоз}} &= 10^4 \times K_{\text{фар}} \times K_m \times \frac{\sum Q_{\text{фар}}}{q} = \frac{10^4 \times 3\% \times 0,465 \times 23,8 \text{ ккал/см}^2}{4450 \text{ ккал/кг}} \\ &= 74,6 \text{ ц/га} \end{aligned}$$

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

$\sum Q_{\text{фар}}$  – суммарный приход ФАР за период вегетации культуры, ккал/см<sup>2</sup>;

$K_m$  – коэффициент хозяйственной эффективности урожая, 0,465

*Методика расчета климатически обеспеченной (по уровню обеспеченности влагой) урожайности*

Методика определения КОУ<sub>w</sub> 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),  $K_{\text{п.о.}} - 0,72$ ,  $K_{\text{в}} - 350$  согласно справочным изданиям.

$$\text{КОУ}_w = \frac{100 \times W_{\text{год}} \times K_{\text{п.о.}} \times 100}{K_{\text{в}} \times (100 - B_{\text{ст}}) \times C} = \frac{100 \times 640 \times 0,72 \times 100}{350 \times (100 - 14) \times 2,4} = 63,8 \text{ ц/га}$$

*2 способ расчета*

$W_{\text{м.с.}} - 227$  мм,  $O_{\text{в.п.}} = 13+15+17+18+19+22+24+27+28+29=212$  мм (расчётное из таблицы), капиллярное подпитывание грунтовыми водами с глубины 1,6 м – 6 м<sup>3</sup>/га за сутки. Период от возобновления вегетации до уборки – 101 день.  $W_{\text{гр}} = 6 \text{ м}^3/\text{га} \cdot \text{сутки} \times 101 \text{ день} / 10 = 60,6$  мм

Таблица 24. – **Количество осадков, мм**

Метеостанция	Сумма осадков												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Горки	1	13	12	12	13	17	22	28	30	21	17	16	14
	2	12	11	12	13	18	24	29	29	18	16	15	13
	3	12	12	13	15	19	27	30	26	18	16	15	12

$$\begin{aligned} \text{КОУ}_w &= \frac{100 \times [W_{\text{м.с.}} + (O_{\text{в.п.}} \times K_{\text{п.о.}}) + W_{\text{гр.}}] \times 100}{K_{\text{в}} \times (100 - B_{\text{ст}}) \times C} \\ &= \frac{100 \times [227\text{мм} + (212\text{мм} \times 0,72) + (6\text{м}^3/\text{га} \cdot \text{сутки} \times 101\text{суток}/10)] \times 100}{350 \times (100 - 14) \times 2,4} \\ &= 60,9\text{ц/га} \end{aligned}$$

*Методика расчета климатически обеспеченной (по биогидротермическому потенциалу – совокупному действию тепла и влаги) урожайности*

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 выражает формула, предложенная профессором А. М. Рябчиковым:

$$ГТП = \frac{(W \times K_{п.о.}) \times T_v}{36 \times R} = \frac{640\text{мм} \times 0,72 \times 10,1\text{декад}}{36 \times 20,3\text{ккал/см}^2} = 6,4\text{балла}$$

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

$W$  – среднегодовое количество осадков, мм;

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

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

$R$  – радиационный баланс за период вегетации, ккал/см<sup>2</sup>;

36 – число декад в году;

$(W \cdot K_o)$  – характеризует запас продуктивной влаги, т. е. среднегодовое количество осадков за вычетом стока.

Таблица 25. – Радиационный баланс, ккал/см<sup>2</sup>

Метеостанция г. Смоленск	Ян- варь	Фев- раль	Март	Ап- рель	Май	Июнь	Июль	Ав- густ	Сен- тябрь	Ок- тябрь	Но- ябрь	Де- кабрь
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

$$R=3,4 \times 20/30 + 6,8 + 6,9 + 6,7 \times 20/31 = 20,3 \text{ ккал/см}^2$$

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:

$$\text{КОУ}_{\text{ГТП}} = 22,0 \times \text{ГТП} - 1 = 22,0 \times 6,4 \text{балла} - 1 = 139,2 \text{ ц/га}$$

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

$$\begin{aligned} \text{КОУ}_{\text{ГТП хоз.}} &= \frac{\text{КОУ}_{\text{ГТП}}}{(100 - \text{Вст}) \times \text{С}} \times 100 = \frac{139,2 \text{ ц/га}}{(100 - 14 \%) \times 2,4} \times 100 \\ &= 67,4 \text{ ц/га} \end{aligned}$$

### *Методика расчета действительно возможной урожайности*

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 ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) и калия ( $\text{K}_2\text{O}$ ).

В агрономической практике уровень потенциального плодородия почвы чаще всего оценивается бонитировочным баллом, который отражает как природные свойства почвы (ее тип, строение, гранулометрический состав, завалуненность, смывость 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

$$\text{ДВУ}_{\text{пот}} = \text{Б}_п \times \text{Ц}_{б.п} \times \text{К} = 30 \times 63 \times 0,96 = 1814,4 \text{ кг/га} = 18,144 \text{ ц/га}$$

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

$\text{Б}_п$  – балл бонитета почвы;

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

$\text{К}$  – поправочный коэффициент на агрохимические свойства

$\text{Б}_п - 30$ ,  $\text{Ц}_{б.п.} - 63$  кг,  $\text{К} - 0,96$

### *Методика расчета программируемой урожайности*

Программируемая урожайность определяется с учетом разницы между КОУ и ДВУ, которая компенсируется прежде всего за счет внесения расчетных доз минеральных и органических удобрений. ПрУ рассчитывается как ДВУ с приростом урожайности, которая должна быть получена за счет удобрений, а также совершенствования технологии возделывания рассматриваемой культуры.

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 наряду с расчетами предполагает сравнительную оценку результатов всех расчетов, их агрономический анализ и выбор. Иначе говоря, определение величины ПрУ сопряжено не только с расчетными, но и с общеагрономическими 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.

Итак, за счет внесения удобрений урожайность можно значительно повысить. Известно, что отдача от вносимых удобрений во многом зависит от качественной характеристики почвы, ее плодородия.

Учитывая сказанное, введем в формулу информацию о возможной отдаче от вносимых удобрений:

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

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

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

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

*Обоснование величины программируемой урожайности (ПрУ) для разработки технологии возделывания рассматриваемой культуры*

Принятию общего заключения предшествуют краткие выводы после каждого из описанных выше способов расчета возможной урожайности. Фак-

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

**Таблица 26. – 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; 60,9
3. По гидротермическому показателю продуктивности ( $KOU_{гтп}$ )	67,4
4. По качественной оценке почвы (ДБУ)	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.

*Расчеты доз удобрений под программируемый урожай.*

1. Расчет доз минеральных удобрений методом элементарного баланса

**Таблица 27. – Расчет доз минеральных удобрений под озимую пшеницу методом элементарного баланса на урожай зерна 6,0 т/га**

Буквенное обозначение	Показатель	Единица измерения	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
В	Вынос из почвы питательных веществ с 1 т зерна и соответствующим количеством соломы	кг	28,2	10,8	19,2
В <sub>0</sub>	Общий вынос питательных веществ, необходимых для получения запрограммированного урожая ( $V_0 = V \cdot Y$ )	кг	182,7	70,0	124,4
П	Содержится в почве питательных веществ в подвижной форме (для N – % гумуса)	мг/100г почвы	2	15	15

$P_1$	Содержится в пахотном горизонте (25 см) питательных веществ (Р и К) в подвижной форме $P_1 = P \cdot T \cdot M$ , где $T$ – мощность пахотного слоя, см; $M$ – объемная масса, г/см <sup>3</sup> (прил. 1.14); $T \cdot M$ – масса пахотного слоя.	кг/га	45	468,75	468,75
$K_p$	Коэффициент усвоения питательных веществ из почвы	%	100	8	13
$I_p$	Количество питательных веществ, которое будет получено растениями из почвы ( $I_p = P_1 \cdot K_p \cdot 0,01$ )	кг/га	45,0	37,5	60,9
$O$	Внесено органических удобрений	т/га	30	30	30
$C_n$	Содержание питательных веществ в навозе	%	0,5	0,25	0,6
$H_p$	Поступит в почву с навозом питательных веществ ( $H_p = O \cdot C_n \cdot 10$ )	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 ( $I_o = H_p \cdot K_1 \cdot 0,01$ )	кг/га	45	22,5	90
$I$	Общее количество питательных веществ, которое могут получить растения из почвы и органических удобрений ( $I = I_p + I_o$ )	кг/га	90,0	60,0	150,9
$D$	Требуется внести питательных веществ с минеральными удобрениями ( $D = B_o - I$ )	кг/га	92,7	10,0	-26,5
$K_m$	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	154,56	66,56	-
$C_T$	Содержится питательных веществ в туках	%	46,2	46	40
$M_y$	Норма внесения минеральных удобрений ( $M_y = D_m : C_T$ )	ц/га	3,3	1,4	-

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

НРК 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 НРК урожаем в оптимальном варианте.

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

Пример для озимой пшеницы.

Норму внесения азотных удобрений рассчитывают по формуле:

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

Расчет доз азота по д.в.:

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

Расчет доз фосфора по д.в.:

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

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

Расчет доз калия по д.в.:

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

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

*Математические модели урожая озимых 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. Например, 45 ц зерна с одного гектара можно получить при густоте продуктивного стеблестоя 450 шт/м<sup>2</sup> с массой зерна одного колоса 1 г и при густоте продуктивных стеблей 500 шт/м<sup>2</sup> с массой зерна одного колоса 0,9 г. Продуктивность одного колоса зависит от крупности зерен (масса 1000 шт.) и количества их в колосе.

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. В процессе кущения образуются дополнительные к главному продуктивные побеги. Число колосков колоса формируется на III–IV этапах органогенеза (конец фазы кущения – начало выхода в трубку). На V этапе органогенеза (выход в трубку, рост стебля) определяется окончательное число цветков в соцветии. Число зерен в колосе связано с IX этапом органогенеза (цветение, оплодотворение, образование зиготы). Формирование плодов и семян, их форма, размеры, крупность связаны с прохождением X–XI этапов органогенеза (фаза налива семян, молочная спелость).

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 таблице.

Таблица 28. – **Оптимальная модель посева зерновых культур**

Культура	Кол-во растений на 1 м <sup>2</sup> при уборке	Продуктивная кустистость	Число продуктивных стеблей на 1 м <sup>2</sup>	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.

### 3.2 Программирование урожайности зерна кукурузы

*Методика расчета потенциального, климатически обеспеченного (по уровню обеспеченности влагой, теплом), действительно возможного, программируемого урожая зерна кукурузы. Расчеты доз удобрений под программируемый урожай. Математические модели урожая зерна кукурузы по элементам структуры.*

При расчетах уровней 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.

### 3.3 Программирование урожайности зерновых бобовых культур

*Методика расчета потенциального, климатически обеспеченного (по уровню обеспеченности влагой, теплом), действительно возможного, программируемого урожая зерновых бобовых культур. Расчеты доз удобрений под программируемый урожай. Математические модели урожая зерновых бобовых культур по элементам структуры.*

При расчетах уровней урожайности по необходимо учитывать, что для яровой культуры  $\Sigma Q_{\text{ФАР}}$  рассчитывается от момента появления всходов. Сумму осадков за вегетационный период рассчитывают от посева до уборки. При расчете доз минеральных удобрений не учитывать внесение органических удобрений под культуру. 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 %.

### 3.4 Программирование урожайности картофеля

*Методика расчета потенциального, климатически обеспеченного (по уровню обеспеченности влагой, теплом), действительно возможного, программируемого урожая картофеля. Расчеты доз удобрений под программируемый урожай. Математические модели урожая картофеля по элементам структуры.*

При расчетах уровней урожайности по необходимо учитывать, что  $\Sigma Q_{\text{ФАР}}$  рассчитывается от момента появления всходов. Сумму осадков за вегетационный период рассчитывают от посадки до уборки. При расчете доз минеральных удобрений необходимо запланировать внесение органических удобрений.

### 3.5 Программирование урожайности семян озимого рапса

*Методика расчета потенциального, климатически обеспеченного (по уровню обеспеченности влагой, теплом), действительно возможного, программируемого урожая семян озимого рапса. Расчеты доз удобрений под программируемый урожай. Математические модели урожая озимого рапса по элементам структуры.*

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

### 3.6 Программирование урожайности сахарной свеклы

*Методика расчета потенциального, климатически обеспеченного (по уровню обеспеченности влагой, теплом), действительно возможного, программируемого урожая сахарной свеклы. Расчеты доз удобрений под программируемый урожай. Математические модели урожая сахарной свеклы по элементам структуры.*

При расчетах уровней урожайности по необходимо учитывать, что  $\Sigma Q_{\text{ФАР}}$  рассчитывается от момента появления всходов. Сумму осадков за вегетационный период рассчитывают от посева до уборки. При расчете доз минеральных удобрений необходимо запланировать внесение органических удобрений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. Каюмов М. К. Программирование продуктивности полевых культур: справочник / Каюмов М. К. – М. : Росагропромиздат. 2-е изд., 1989. – 389 с.
3. Можаяев Н., Серикпаев П., Стыбаев Г. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур: Учебное пособие. - Астана: Фолиант, 2013. - 160 с.
4. Основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур : учебное пособие. - 5-е изд., перераб. и доп. / В. В. Агеев, А. Н. Есаулко, Ю. И. Гречишкина и др. - Ставрополь : АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2014. - 200 с.
5. 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.
6. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур : учебно-методическое пособие / Д. И. Мельничук [и др.]; под ред. Д. И. Мельничука. – Горки : БГСХА, 2016. – 176 с.
7. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур : учебно-методическое пособие / Д. И. Мельничук [и др.]; под ред. Д. И. Мельничука. – Горки : БГСХА, 2016. – 176 с.
8. 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.
9. Ульянов В.С. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур: метод. Рекомендации / В. С. Ульянов, Т. В. Князева. – Краснодар : КубГАУ, 2017. – 50 с.