Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

А. И. Юсов

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И РАСТЕНИЕВОДСТВА

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,
обучающихся в магистратуре по направлению подготовки
35.04.04 – Агрономия

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2022

УДК 633:631.559 (07)

Рецензент
кандидат биологических наук, доцент кафедры агрономии и агроэкологии
Е. А. Барановская

Юсов, А. И.

Методологические основы рационального земледелия и растениеводства: учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов, обучающихся в магистратуре по направлению подготовки 35.04.04 – Агрономия / А. И. Юсов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 50 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Методологические основы рационального земледелия и растениеводства» представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекции по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля, материалы по подготовке и выполнению практических занятий для направления подготовки 35.04.04 – Агрономия, форма обучения очная, заочная.

Табл. 5, список лит. – 3 наименования

Учебно-методическое пособие рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой агрономии и агроэкологии 08 ноября 2022 г., протокол № 5

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 30 ноября 2022 г., протокол № 12

УДК 633:631.559 (07)

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калининградский государственный технический университет», 2022 г.
© Юсов А. И., 2022 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение……. 4
1. Методические рекомендации по изучению дисциплины……. 6
2. Методические рекомендации по подготовке и выполнению практических занятий…….. 38
3. Методические рекомендации по подготовке к текущей аттестации…… 44
4. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы…….. 46
5. Учебная литература и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента…… 48
Библиографический список…… 49

ВВЕДЕНИЕ

Целью освоения дисциплины является формирование систематизированных знаний, умений и навыков в области современных проблем в агрономии, являющихся основой для решения профессиональных задач.

Методологические основы рационального земледелия и растениеводства составляет многолетний опыт, закрепленный в законах и традициях практического земледелия и обобщенный в многочисленных инструкциях, методических указаниях и технологических картах.

Современная агрономия – это с одной стороны, наука о путях получения урожая в результате мобилизации знаний о системе «почва-растение-деятельный слой атмосферы», а с другой – совокупность агротехнологических приемов осуществляемых на различных временных уровнях в конкретных почвенно-климатических условиях, обеспечивающих получение урожая.

Комплекс научно-обоснованных агротехнологических приемов (операций) дифференцированных по природным и экономическим параметрам способствуют достижению двуединой цели – получение высокой продуктивности посевов и устойчивого функционирования производства с одновременным воспроизводством почвенного плодородия и экологической чистоты сельскохозяйственной продукции.

Дисциплина «Методологические основы рационального земледелия и растениеводства» относится к основной профессиональной образовательной программы магистратуры по направлению подготовки 35.04.04 Агрономия.

В результате обучения (владения, умения и знания), соотнесенные с компетенциями/индикаторами достижения компетенции обучающийся должен:

При реализации дисциплины «Методологические основы рационального земледелия и растениеводства» организуется практическая подготовка путем проведения практических и лабораторных работ, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

знать:

– суть, принципы и этапы программирования урожаев, как основы управления продуктивностью;

– структуру и особенности способов и приёмов производства растениеводческой продукции, необходимые для управления процессами формирования урожая;

– закономерности и взаимозависимости процессов, которые происходят в системе «почва – растение – климат – хозяйственные ресурсы» и могут быть учтены при разработке моделей – инструментов управления формированием заданной урожайности;

уметь:

– определять для конкретных условий градиенты лимитирующих факторов, необходимые для климатически и ресурсно-обеспеченных урожайностей;

– разрабатывать информационно-логические модели отдельного объекта, фактора, процесса в агроэкосистемах как инструмента управления ими;

– пользоваться конкретной программой определения уровня запрограммированной урожайности и средств и мер по ее получению;

владеть:

– выбором оптимальных технологических решений при создании технологий производства продукции растениеводства;

– методами контроля над выполнением разработанной программы;

– методами внедрения передовых технологий программирования урожаев;

– выбором оптимальных технологических приемов выращивания полевых культур при определении наиболее рациональных путей использования почвенно-климатических и экономических возможностей хозяйства

Для успешного освоения дисциплины «Методологические основы рационального земледелия и растениеводства» в учебно-методическом пособии по изучению дисциплины приводится краткое содержание каждой темы занятия, перечень ключевых вопросов для подготовки к лабораторным и практическим занятиям и организации самостоятельной работы студентов.

Для оценивания поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) предусмотрены тестовые и практические задания. Тестирование и решение практических задач, обучающихся проводится на практических занятиях после изучения соответствующих тем. Тестовое задание предусматривает выбор правильного ответа на поставленный вопрос из предлагаемых вариантов ответа. Перед проведением тестирования преподаватель знакомит студентов с вопросами теста, а после проведения тестирования проводит анализ его работы. Перечень примерных тестовых и практических заданий представлен в фонде оценочных средств по данной дисциплине.

Промежуточная аттестация проводится в виде зачета, к которому допускаются студенты, освоившие темы курса и имеющие положительные оценки.

При необходимости для обучающихся инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Осваивая курс «Методологические основы рационального земледелия и растениеводства», студент должен научиться работать на лекциях, лабораторных и практических занятиях и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность. В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать, отмечать наиболее существенную информацию и кратко ее конспектировать; сравнивать то, что услышано на лекции с прочитанным и усвоенным ранее материалом, укладывать новую информацию в собственную, уже имеющуюся, систему знаний. По ходу лекции необходимо подчеркивать новые термины, определения, устанавливать их взаимосвязь с изученными ранее понятиями.

Тематический план лекционных занятий (ЛЗ) представлен в таблица 1.

Таблица 1 – Объем (трудоемкость освоения) и структура ЛЗ

Номер темы	Содержание лекционного занятия	Количество часов, очная форма обучения	Количество часов, заочная форма обучения
1	Введение в дисциплину. Теоретические основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур	2	–
2	Агрометеорологические основы программирования урожаев	2	2
3	Агрохимические основы программирования урожаев	4	–
Итого		8	2

Тема 1. Введение в дисциплину. Теоретические основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур

Ключевые вопросы темы

Принципы программирования урожаев сельскохозяйственных культур. Планирование, прогнозирование и программирование урожаев. Методы программирования урожая сельскохозяйственных культур. Уровень урожайности при программировании. Основы программирования урожаев.

Содержание темы занятия

Принципы программирования урожаев сельскохозяйственных культур. Многолетние экспериментальные исследования и обобщение результатов работ по фотосинтезу, минеральному питанию, водному режиму, продуктивности растений в посевах, использованию посевами ФАР для формирования урожаев позволили академику И. С. Шатилову (1970) обосновать 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 тыс. 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 отмечает, что посевы сельскохозяйственных культур по использованию ФАР можно разделить 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 беспрерывном использовании пашни посредством сочетания основных и промежуточных культур в севооборотах теоретические параметры становятся практическими.

В период быстрой интенсификации земледелия проблема повышения фотосинтетической деятельности посевов приобрела особое значение. Биологи различных стран, обсуждая проблему увеличения производства зерна и другого продовольствия, пришли к выводу, что необходимо, 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.

В научных центрах России и других стран продолжаются глубокие исследования, направленные на разработку приемов и способов, обеспечивающих усвоение посевами 3 % и даже 5 % ФАР за период со среднесуточными температурами выше 10 °С. В этом случае ПУ биомассы (сухая масса, ц/га) может составить для широты Петербурга – 250, Москвы – 312, Ставрополя – 410, Арзгира – более 500.

В настоящее время таких урожаев пока не получают и приведенные расчеты являются постановочными на перспективу. Здесь перед сельскохозяйственной наукой возникает ряд крупных проблем, которые необходимо интенсивно изучать.

Одним из центральных является вопрос об изменении почвы в связи с систематическим применением высоких доз удобрений. Получение высоких урожаев, конечно, связано с оптимизацией условий водоснабжения. Многочисленные экспериментальные данные по минеральному питанию, водному режиму, чистой продуктивности фотосинтеза и агротехнике дают возможность разработать такой комплекс мероприятий, который обеспечивает усвоение посевом заданного количества ФАР и получение запланированного урожая.

Третий принцип программирования урожаев состоит в том, чтобы определить потенциальные возможности культуры или сорта применительно к условиям, где предполагается возделывать культуру или сорт. Эти данные можно получить путем непосредственного эксперимента или использовать характеристики сорта по результатам сортоиспытания. Известно, что растения с высоким и ярусным расположением листьев способны лучше использовать солнечную энергию. В пределах вида – сорта, которые характеризуются острым углом отхождения листьев от стебля, растения лучше поглощают солнечную радиацию, чем те, у которых этот угол близок к прямому (пшеница, рис).

Четвертый принцип программирования урожаев заключается в том, чтобы на поле, занятом растениями, сформировать такой фотосинтетический потенциал (ФП), который будет способен обеспечить запрограммированный уровень урожайности. Например, в условиях Ставрополя (45 параллель) каждая тысяча единиц фотосинтетического потенциала обеспечивает получение 2,5–3 кг зерна. Для получения 5,0–5,5 т зерна озимой пшеницы необходимо сформировать ФП, равный 2,0–2,5 млн. кДж/га.

Фотосинтетический потенциал неразрывно связан с чистой продуктивностью фотосинтеза, характеризующей производительность работы площади листьев. Средняя чистая продуктивность фотосинтеза составляет

4–7 г $м^2$/сут. Чем выше чистая продуктивность фотосинтеза, тем выше урожайность культуры. По данным ученых Болгарии на орошаемых землях для урожая зерна кукурузы в 100 ц/га необходимо сформировать фотосинтетический потенциал, равный 3,0–3,3 млн. ед.

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

Урожайность – величина интегральная. Она обусловливается 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, чтобы 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. Успехи селекции последних лет определили разработку сортовой агротехники, так как новые сорта характеризуются иным ходом поступления питательных веществ и более экономным расходованием влаги на формирование урожая. Существующие сорта многих культур при увеличении плотности посева и размеров листовой поверхности снижают чистую продуктивность фотосинтеза в связи с затенением нижнего яруса листьев, ухудшением воздухообмена, а следовательно, и ухудшением снабжения листьев углекислотой. В результате снижается эффективность внесения высоких доз удобрении и орошения.

Поэтому во многих странах мира ученые разных специальностей разрабатывают модели растений, способных аккумулировать 5 процентов и более приходящей фото синтетически активной радиации. Например, обсуждается модель растения кукурузы высотой 30–33 см, на котором должен сформироваться один початок длиной 5–7 см и диаметром 2–3 см. Такую кукурузу предполагают (в случае ее создания) высевать сплошным способом, убирать обычным комбайном и получать 200 и более ц/га сухого зерна. Ведется работа и в противоположном направлении – по созданию многопочатковой кукурузы. Высказывается мнение о целесообразности создания пшеницы с мощным стеблем, содержащим много хлорофилла, но без листьев.

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.

Для большинства культур оптимальной влажностью почвы считается 65–80 % от наименьшей влажности. В условиях неорошаемого земледелия представляется возможным определить вероятный водный режим растений на основе метеоданных и по ним рассчитывать водный баланс и уровень урожайности. Конечно, при существующих изменениях погодных условий будут наблюдаться колебания в уровне урожайности.

Девятый принцип программирования урожаев состоит в том, чтобы обеспечить выращивание здоровых растений исключив отрицательное влияние на их рост и урожайность болезней и вредителей.

Накопление достоверных экспериментальных данных по получению заранее рассчитанной урожайности позволит подойти к математическому моделированию программирования урожайности.

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

По мере накопления фактов будут сформулированы новые принципы и отброшены устаревшие. Повышение культуры земледелия, выведение новых сортов, создание более эффективных форм удобрений, несомненно, в будущем приведет к получению и более высоких урожаев.

Планирование, прогнозирование и программирование урожаев. Программирование урожая следует отличать от прогнозирования и планирования. Программирование подразумевает только решающие факторы, влияющие на формирование урожайности: удобрения, технологию возделывания, орошение, сорт, защиту растений от болезней, вредителей, сорняков и полегания. Разработка проблемы программирования во всей ее сложности возможна в будущем при накоплении большего объема сведений о продукционном процессе формирования урожая, как в количественном, так и в качественном отношении.

Планирование урожая – как правило, осуществляется от достигнутого уровня с использованием желаемых показателей роста продуктивности растениеводства на ближайший период и рассматривается как первый этап программирования. Он базируется на среднестатистических данных по урожайности в данном хозяйстве или на данном поле за много лет с превышением последнего на величину, ожидаемую от изменения уровня агротехники, механизации и организации труда, а также конъюнктуры рынка страны в продуктах питания и промышленности в сырье.

Планирование решает долгосрочные (связанные с перспективами развития), текущие (затрагивающие процессы в период одного года) и оперативные (реализуемые на каждом этапе формирования урожая) задачи.

Прогнозирование представляет собой расчет теоретически возможного нарастания урожая, обеспечиваемого климатическими, почвенными и материально-техническими ресурсами. Оно дает возможность предсказать конечный результат по возделыванию культуры в определенных почвенно-климатических условиях. Цель прогнозирования – дать научное обоснование величины урожая при разработке планов производства сельскохозяйственной продукции.

Прогнозирование урожаев – это научно обоснованное предсказание продуктивности сельскохозяйственных культур на ряд лет или на перспективу. При использовании метода корреляционно- регрессионного анализа в прогнозировании урожаев пользуются линейной формой уравнения:

$$У = а + вх \qquad (1)$$

где У – средний урожай в году, ц/га; а – свободный член уравнения, в – коэффициент регрессии; х – фактор времени.

При программировании, кроме научного прогноза величины и качества урожая, заранее намечается предстоящий ход его формирования, то есть рост и развитие растений по этапам органогенеза или фазам роста и развития. При этом целенаправленно осуществляется оптимизация основных факторов формирования урожая.

Программирование урожая – это научно обоснованное прогнозирование поэтапного его формирования, оптимизация основных факторов роста и развития и управление процессом формирования урожая на основе априорной и оперативно текущей информации, быстро обрабатываемой на компьютерах по специальным программам. При программировании урожайности сельскохозяйственных культур необходимо иметь соответствующие математические (функциональные) модели, надежные машинные программы для ЭВМ, заданные режимы технологии возделывания сельскохозяйственных культур, владение навыками пользования ЭВМ для оперативного определения требуемых агротехнических приемов для получения программируемой урожайности.

Программирование урожаев – это определение продуктивности почвы по почвенно-климатическим ресурсам и разработка интенсивных технологий возделывания, обеспечивающих наиболее полное использование генетического потенциала сортов и гибридов сельскохозяйственных культур.

Следовательно, программирование урожаев предусматривает полную реализацию потенциальной продуктивности сорта при оптимизации основных факторов жизнедеятельности растений в регулируемом земледелии и рациональное использование ресурсов климата и почв при условии лимитирования продуктивности посевов каким-нибудь фактором.

Методы программирования урожая сельскохозяйственных культур. В настоящее время существуют следующие методы расчета урожайности:

- метод экстраполяции сложившихся закономерностей;
- биологические методы;

– методы, основанные на использовании обобщенных агроклиматических ресурсов: влагообеспеченности посевов, ФАР, биоклиматического потенциала;

– методы, по качественной оценке почв (бонитировка) и агрохимических показателям;

– математико-статистический метод (регрессионные модели количественных связей урожая с факторами, обеспечивающими его);

– оптимизационные модели;

– имитационные модели;

– детерминистические модели;

– стохастические модели;

– динамические модели;

– статистические модели;

– методы, основанные на автоматизированной системе управления техническими процессами в земледелии.

Уровень урожайности при программировании. Программирование урожайности начинается с обоснования величины возможного урожая, на который необходимо ориентироваться. Урожай формируется в процессе фотосинтеза. Уровень урожайности зависит от биологических свойств культуры или сорта, количества прихода ФАР, количества элементов питания в почве, уровня агротехники и метеорологических условий.

При программировании урожая любой сельскохозяйственной культуры обычно определяют три уровня урожайности: 1) потенциальный урожай (ПУ) – по приходу фотосинтетически активной радиации; 2) действительно возможный урожай (ДВУ) – по биоклиматическим показателям и условиям влагообеспеченности; 3) урожай в производстве (УП) – уровень урожайности, получаемый в производстве.

Потенциальный урожай (ПУ) – это теоретически возможный максимальный урожай, который можно получить в идеальных метеорологических условиях (достаточно воды, тепла, света). Он зависит от прихода ФАР и потенциальной продуктивности культуры или сорта.

Действительно возможный урожай (ДВУ) – это максимальный урожай, который может быть получен при реальных среднемноголетних климатических условиях. На основании обобщения результатов многолетних опытов установлено, что ДВУ составляет 60–80 % ПУ.

Урожай в производстве (УП) значительно ниже ДВУ. Это объясняется тем, что ФАР и метеорологические условия максимально не используются для формирования урожая. Причины этого – неудовлетворительный прогноз погоды, недостатки в агротехнике и организации производства, наличие болезней, вредителей и сорняков в посевах сельскохозяйственных культур.

Основная задача программирования урожаев - приближение УП к ДВУ и ДВУ к ПУ. Программирование урожаев должно быть направлено к осуществлению следующих переходов: УП-ДВУ-ПУ. Для этого необходимо провести мероприятия по улучшению согласованности потребностей растений

с условиями внешней среды, при этом следует иметь в виду и экономическую эффективность проводимых мероприятий.

Качество программирования урожая в производстве следует оценивать не по абсолютному значению полученного урожая, а по разности между ДВУ и УП. Эта разность является величиной урожая, недополучаемого из-за неполного использования потенциальных возможностей повышения урожая. Эффективность программирования урожая тем выше, чем меньше разность между ДВУ и УП, т. е. меньше недобор урожая. В идеальном случае УП должен быть равен ДВУ.

Основы программирования урожаев. Повышение культуры земледелия, выведение качественно новых сортов, разработка интенсивных технологий возделывания полевых культур и другие достижения в области агрономической науки, а также накопление исходных данных о взаимосвязи с различными факторами роста и развития растений позволили сформулировать новые принципы программирования урожаев: физиологические, биологические, агрохимические, агрофизические, агрометеорологические и агротехнические. Такое разделение несколько условно, но эти принципы широко применяются в решении задачи практического программирования урожаев специалистами различных отраслей агрономической и смежных с ней наук.

Физиологические принципы программирования урожаев предусматривают формирование посевов с оптимальными показателями площади листьев, чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ), фотосинтетического потенциала (ФП) 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 их нарастание и принимают оптимальные решения для регулирования (полного или частичного) факторами, непосредственно влияющими на рост и развитие ассимилирующих органов и динамику накопления ФП.

Биологические принципы программирования урожаев связаны:

– с оптимизацией водного, воздушного, теплового и пищевого режимов почв;

– с созданием автоматизированных систем регулируемого земледелия;

– с управлением факторами среды обитания растений и реализацией потенциальной продуктивности современных сортов сельскохозяйственных культур.

«Искусственное» растениеводство (камеры искусственного климата, теплицы и др.) уже в настоящее время носит характер контролируемого, управляемого и регулируемого объекта.

Агрохимические принципы программирования урожаев предусматривают:

– обоснование экономически оправданных доз удобрений для посевов заданной продуктивности с учетом агрохимических свойств 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 диагностики для контроля за питанием растений в агрофитоценозах.

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

Пористость в значительной степени зависит от плотности почвы. Чем почва рыхлее, тем больше ее пористость и воздухоемкость. Чтобы иметь достаточное количество кислорода в почве, необходимо сохранять ее в рыхлом состоянии. Оно соответствует объемной массе не более 1–1,2 г/см^3 для суглинистых почв и не более 1,2–1,4 г/см^3 для супесчаных и песчаных почв.

Агрометеорологические принципы программирования урожаев - это правильное использование климатических показателей для обоснования продуктивности посевов, прогнозирования условий вегетационного периода, полегания растений, появления и вредоносности вредителей и болезней и др.

Основные неблагоприятные факторы, которые приводят к гибели или частичному повреждению посевов озимых и зимующих культур – вымерзание, выпревание, вымокание, выдувание, зимняя засуха и ледяная корка на почве. Эти показатели могут быть использованы для программирования условий перезимовки озимых и зимующих культур.

Уровень урожая и КПД ФАР зависят от окультуренности почв, урожайности сорта, влагообеспеченности посевов, доз удобрений и других агротехнических мероприятий. Их оптимизация составляет задачу программирования урожая.

Агротехнические принципы программирования урожаев заключаются в разработке и внедрении оптимальных технологий (сетевых графиков) возделывания культуры, обеспечивающих своевременное и высококачественное проведение всего агротехнического комплекса работ с учетом биологических особенностей сорта.

Важные факторы при этом: нормы высева, плотность стояния растений, сроки и способы посева, режимы орошения или осушения, то есть факторы, придающие агрофитоценозу характер регулируемого и управляемого объекта.

Задача программирования состоит в том, чтобы с учетом складывающихся погодных условий или материально-технических ресурсов хозяйства сформировать такие посевы, которые бы при минимальных затратах труда и средств обеспечивали наивысшую продуктивность.

Контрольные вопросы

1. Дайте характеристику принципам программирования урожаев сельскохозяйственных культур.

2. Что включает в себя планирование, прогнозирование и программирование урожаев?

3. Методы программирования урожая сельскохозяйственных культур.

4. Дайте характеристику видам урожайности при программировании.

5. Какие научные принципы формируют современные основы программирования урожаев?

Тема 2. Агрометеорологические основы программирования урожаев

Ключевые вопросы темы

Метеорологические факторы, определяющих состояние и продуктивность сельскохозяйственных культур. Фотосинтетическая активная радиация (ФАР), ее роль в формировании урожая. Методы расчета и обеспеченность ФАР основных сельскохозяйственных культур с учетом зональных особенностей. Определение урожайности по фотосинтетическому потенциалу листьев. Прогнозирование и программирование урожайности зерновых культур по структурной формуле урожая. Использование прогнозов погоды для программирования урожаев и корректировки программы в процессе ее осуществления**.**

Содержание темы занятия

Метеорологические факторы, определяющих состояние и продуктивность сельскохозяйственных культур. На территории России отмечаются следующие неблагоприятные погодные условия:

Засуха характеризуется как продолжительный бездождный период, сопровождающийся высокой температурой воздуха и иссушением почвы. Наблюдаются засухи осенние, весенние и летние. Могут отмечаться зимние засухи. Засуха может продолжаться в течение 2–3 сезонов. Сильная жара достигает 40° и более.

Суховеи. К ним относятся ветры со скоростью 5 м/с и более, сопровождающиеся температурой воздуха 25 °С и более, относительной влажностью воздуха 30 % и ниже.

Пыльные бури. К ним относятся ветры, сопровождающиеся переносом большого количества почвенных частиц. Пыльные бури могут быть зимние, весенние, летние, осенние. Совместное перемещение в воздухе снега с пылью в XIX в. было названо зимними черными бурями.

Ливневые осадки характеризуются высокой интенсивностью, чаще проявляются с апреля по сентябрь. Охватывают небольшие площади и часто бывают непродолжительными, но могут вызывать различные бедствия и сильное разрушение почв.

Зимние сильные потепления. Максимальная температура воздуха в зимний период может повышаться до 6–20°. Теплые зимы способствуют вегетации озимых культур, проведению полевых работ, но при отсутствии снежного покрова содействуют возникновению пыльных бурь. В теплые зимы сильнее проявляется поражение озимой пшеницы болезнями. При наличии снежного покрова и отсутствии сильных морозов наблюдается выпревание озимых культур.

Сильные морозы. Особо сильные морозы (до -35°, -40°) наблюдающиеся при значительном снежном покрове (20–30 см); морозы до -18°, -25° - при отсутствии или незначительной мощности снежного покрова вызывают

вымерзание озимых и зимующих культур.

Сильные ветры, ураганы. Сильные ветры со скоростью более 14–21 м/сек, ураганные ветры, штормы со скоростью более 21 м/сек.

Метели, вьюги характеризуются сильными и ураганными ветрами, сопровождающимися снегопадом и переносом рыхлого наземного снега.

Интенсивные гололеды характеризуются выпадением сильных переохлажденных жидких осадков при небольших отрицательных температурах воздушного приземного слоя (-1 – - 6 °С).

Град. Выпадение града часто сопровождается штормовым ветром, охватывает небольшие площади, наблюдается почти ежегодно в разных частях территории края.

Похолодания в теплый период года могут наблюдаться в виде весенних и осенних заморозков при температуре 0 – -6 °С. В летнее время возможно снижение температуры до 6 °С.

Неблагоприятные погодные условия могут проявляться в течение сезона совместно и по очередности, вызывая различные бедствия. В течение зимнего периода могут быть сильные морозы, ураганные ветры, пыльные бури, незначительное количество снежных осадков, потепления, обильное выпадение снежных осадков, вьюги.

Фотосинтетическая активная радиация (ФАР), ее роль в формировании урожая. Методы расчета и обеспеченность ФАР основных сельскохозяйственных культур с учетом зональных особенностей. Урожай формируется в процессе фотосинтеза в результате использования энергии солнечной радиации. Предел плодородия почвы определяется не количеством удобрений, которые мы можем ей доставить, не количеством поданной влаги, а количеством световой энергии, посылаемой солнцем на данную поверхность.

Различают два вида естественной радиации: коротковолновую, называемую также *интегральной радиацией,* с длиной волны 280–400 нм; длинноволновую с длиной волны от 400–4000 нм. Для определения потенциальной урожайности используют фотосинтетически активную радиацию (ФАР) с длиной волны 380–710 нм. В свою очередь ФАР подразделяется на следующие виды: ***прямая солнечная радиация (S)*** – часть лучистой энергии Солнца, поступающая к Земле в виде почти параллельных лучей; ***рассеянная радиация (D)*** – часть солнечной радиации, падающая на горизонтальную поверхность после рассеивания атмосферой и отражения от облаков, ее измеряют пиранометром, приемная часть которого затеняется от солнца при помощи специальных экранов.

Суммы ФАР по району (хозяйству) могут быть рассчитаны также по данным ближайшей актинометрической станции или агрометеорологического поста. Данные сумм интегральной радиации, взятые на станции, пересчитывают на сумму ФАР по формуле

$$Q_{ФАР} = 0{,}4225S + 0{,}582D, \qquad (2)$$

где $Q_{ФАР}$ – сумма общей ФАР; **S** – сумма прямой солнечной радиации;

D – сумма рассеянной солнечной радиации.

Показатель ФАР обычно составляет 42–47 % интегральной радиации и зависит от метеорологических условий года. В зависимости от продолжительности вегетационного периода, значения ФАР сильно различаются: в приполярных зонах приход ее составляет 4,19–6,28 млрд. кДж/га, на Северном Кавказе – 25,12–29,31 млрд. кДж/га, а в республиках Средней Азии – 33,49–41,87 млрд. кДж/га, что обусловливает формирование различного количества и качества биомассы.

Солнце посылает на землю колоссальный поток энергии ($50*10^{20}$), но не вся энергия достигает поверхности земли, примерно 50 % ее рассеивается в атмосфере.

В настоящее время достигнут предел использования растениями солнечной энергии на фотосинтез – это максимум 3–4 %, а чаще 1–2 % или меньше. Однако у некоторых полевых культур при высокой агротехнике коэффициент использования ФАР достигает значительной величины.

Рассчитать, величину планируемого урожая по приходу ФАР можно пользуясь формулой А.А. Ничипоровича:

$$У_{биол} = (\Sigma Q_{ФАР}*К)/10^5 g \qquad (3)$$

где $У_{биол}$ – биологический урожай абсолютно сухой растительной массы, т/га; $Q_{ФАР}$ – количество приходящей ФАР за период вегетации культуры в данной зоне, млрд. ккал/га; К – запланированный коэффициент использования ФАР, %; g – количество энергии, выделяемое при сжигании 1 кг сухого вещества биомассы, ккал/га; 10^5 – для перевода в тонны.

Определение урожайности по фотосинтетическомупотенциалу листьев. 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. $м^2$/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 показателейплощади 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. $м^2$/га (53–55 тыс. $м^2$/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.

Прогнозирование и программирование урожайности зерновых культур по структурной формуле урожая. Основные элементы структуры урожая, из которых складывается его величина, – количество растений на 1 $м^2$ при уборке, продуктивная кустистость, число колосков в колосе, число зерен в колоске, число зерен в колосе, масса 1000 зерен. Они составляют биологическую основу урожайности.

Исходя из указанных биологических элементов М. С. Савицким (1973) предложено определять величину урожая по структурной формуле:

$$У= (Р*К*З*А)/10000 \qquad (4)$$

где У – урожай зерна, ц/га; Р – среднее количество растений на 1 $м^2$ при уборке, шт.; К – продуктивная кустистость; З – среднее число зерен в колосе, шт.; А – масса 1000 зерен, г.

В более сокращенном виде указанную формулу можно записать соотношением:

$$У= (С*В)/10 \qquad (5)$$

где С – густота продуктивных растений (стеблей), шт./$м^2$; В – средняя продуктивность одного растения (стебля), г.

Структурная формула урожайности как в полном, так и в упрощенном виде наглядно показывает, как складывается любая величина урожая, позволяет определять виды на урожай в поле на корню и оценивать эффективность различных агротехнических приемов. Эта формула дает возможность установить оптимальную густоту стояния растений и продуктивных стеблей, а также оптимальную массу зерна с одного растения (колоса или метелки), обеспечивающих максимальный урожай, возможный в определённых конкретных условиях среды. Так, по структурной формуле на основании многолетних данных было установлено, что в Белоруссии оптимальная густота продуктивного стеблестоя зерновых при уборке урожая составляет 500–600 колосьев на 1 $м^2$ в зависимости от культуры, сорта растения, плодородия и типа почвы. При средней массе 0,5 г зерна в колосе это может обеспечить 25–30 ц/га.

Элементы структуры урожая являются в известной степени отображением комплекса условий внешней среды, который может быть учтен количественно через элементы структурной формулы урожайности и урожай в целом. Знание закономерностей формирования урожая зерновых культур в поле на корню позволяет прогнозировать его величину. Однако этот метод не

обеспечивает точный расчет необходимых элементов питания, влаги и других факторов среды для получения запланированных урожаев.

Проведенный анализ структуры урожая за ряд лет позволил установить, что наиболее устойчивыми показателями его структуры являются полевая всхожесть, продуктивная кустистость, масса 1000 зерен и выход зерна из общей массы урожая. Средними по устойчивости показателями урожая являются число колосков в колосе, число зерен в колосе, процент перезимовавших растений (для озимых культур). Наименее устойчивыми показателями являются урожай зерна, количество растений и продуктивных стеблей на 1 $м^2$ при уборке урожая и процент сохранившихся к уборке растений.

Использование прогнозов погоды для программирования урожаев и корректировки программы в процессе ее осуществления. Программа, составленная на основании только климатических норм, будет давать существенную ошибку. При учете влаго- и теплообеспеченности следует использовать параметры, содержащиеся в агроклиматических справочниках, а также данные, полученные в хозяйстве или на ближайшей метеостанции, характеризующие режим увлажнения и особенности микроклимата отдельных полей: сумма активных температур; дата последнего заморозка весной; дата первого заморозка осенью; продолжительность безморозного периода; запасы продуктивной влаги (мм) в метровом слое почвы на начало весенних полевых работ в полях севооборота; сумма осадков за вегетационный период (мм); запасы продуктивной влаги (мм) в метровом слое почвы перед уборкой (в полях севооборота); суммарный расход влаги (мм) за вегетационный период по культурам; средний из абсолютных минимумов температуры воздуха; повреждение озимых зимой (по видам повреждений); суммарная потребность

воды на формирование единицы сухого вещества (коэффициент водопотребления) по культурам, сортам; график динамики и тренда урожайности программируемой культуры за последние 10–20 лет (по данным хозяйства).

При составлении программы получения высокого урожая до посева не представляется возможным заложить в нее предикторы, характеризующие ожидаемые метеорологические условия на 4–5 месяцев предстоящего периода. Поэтому используют вероятностные характеристики для расчета климатической обеспеченности: сумму температур, необходимых для созревания данного сорта; сроков поспевания почвы; сроков окончания заморозков; суммы осадков и других элементов с обеспеченностью 80 или 90 %, что позволяет рассчитывать сроки сева и уборки, оросительные нормы, характеризовать условия возделывания конкретных сортов в данных климатических условиях и устанавливать нижний предел ожидаемого урожая (по обеспеченности в 80–90 % лет) ресурсами климата при заданной агротехнике.

Контрольные вопросы

1. Дайте характеристику метеорологическим факторам, определяющим состояние и продуктивность сельскохозяйственных культур.

2. Какова роль фотосинтетически активной радиации (ФАР) в

формировании урожая?

3. Дайте характеристику методам расчета и обеспеченности ФАР основных сельскохозяйственных культур с учетом зональных особенностей.

4. Определение урожайности по фотосинтетическомупотенциалу листьев.

5. Прогнозирование и программирование урожайности зерновых культур по структурной формуле урожая.

6. Использование прогнозов погоды для программирования урожаев и корректировки программы в процессе ее осуществления.

Тема 3. Агрохимические основы программирования урожаев

Ключевые вопросы темы

Определение понятия модели. Классификация моделей. Прогнозирование и программирование урожая на основе балансовых моделей. Моделирование плодородия почвы. Оценка плодородия при использовании шкалы бонитировки почв. Разработка регрессионных моделей. Моделирование содержания гумуса в почве. Моделирование содержания подвижных питательных веществ в почве. Прогнозирование фосфатного потенциала почвы. Прогнозирование калийного потенциала почвы. Прогнозирование реакции почвенного раствора.

Содержание темы занятия

Определение понятия модели. Классификация моделей. Модель представляет собой упрощенную форму отображения основных сторон строения и функционирования реального объекта. Фундаментальная ценность модели состоит в ее способности заменять реальный объект или процесс при изучении особенностей его функционирования.

Слово «модель» происходит от французского *modele,* означает образец какого-либо изделия для серийного производства; воспроизведение объекта в уменьшенном или увеличенном виде; предмет изображения в искусстве; геометрический чертеж или механический образец, дающий наглядное представление о каком-либо физическом объекте или процессе.

В данном случае речь идет о вещественных моделях, которые отображают отдельные интересующие нас стороны строения или функционирования материальных объектов. Таковы, например, модели, дающие представление о внешней форме и соотношении размеров предмета. Другие модели - тренажеры - внешне мало сходны с объектом, но воспроизводят внутреннее устройство и раскрывают принцип его функционирования.

В земледелии делянка в полевом эксперименте – уменьшенная модель поля. К этому типу моделей относятся лизиметры, предназначенные для исследования процессов в почве, которые трудно или невозможно изучить непосредственно в поле (например, водный и пищевой режимы, динамика формирования корневой системы и др.).

К материальным моделям предъявляют следующие требования: исследования, проводимые на модели, должны быть более экономичными, чем непосредственное исследование объекта (требование экономичности); результаты исследования должны быть полностью переносимы на оригинал

(требование экстраполяции). При невыполнении этих требований использование метода моделирования приводит к отрицательным результатам - исследование на модели оказывается либо более дорогим, чем на оригинале, либо полученные данные неприложимы к реальному объекту.

При создании и использовании функционирующих материальных объектов необходимо применять метод подобия. Подобие – это условие, при котором возможно количественное распространение результатов эксперимента с модели на оригинал. Поскольку использование материальных моделей в исследованиях в областиземледелия широко распространено, необходимо более подробно остановиться на вопросе о выполнении требования экстраполяции.

Для построения такой модели необходимо выполнить требования теории подобия, что весьма нелегко, особенно когда процесс функционирования реального объекта сложный. Поэтому результаты многих модельных экспериментов в земледелии и растениеводстве (вегетационные, лизиметрические, факторостатные и др.) нельзя количественно переносить на оригинал (поле), поскольку подобие моделей (вегетационный сосуд, лизиметр, фитотрон) оригиналу (поле) не определено и результаты исследования не продуктивны, т.е. не могут быть экстраполированы. Практически невозможно создать, например, фитотрон, который по основным показателям (режим освещения, воздухообмен и др.) был бы подобен полю. Показатели лизиметра (теплообмен и водообмен между горизонтами почвенного профиля, горизонтальный сток) не подобны показателям реального объекта. Более того, иногда результаты полевых опытов на больших делянках, подобие которых полю нетрудно соблюсти, не всегда могут быть количественно перенесены в производственные условия, так как в данном случае не выполнено требование подобия по масштабу. Как известно, с изменением масштаба производства изменяются сроки проведения технологических операций, а иногда и их качественные показатели. Вследствие этого эффективность тех или иных рекомендаций применительно к небольшим масштабам может неподтвердиться при широком масштабе производства.

Для практики решающее значение имеет возможность количественного приложения результатов опытов на модели к оригиналу, в противном случае моделирование было бы бессмысленным. С другой стороны, исследование на модели должно быть более экономичным (с учетом стоимости модели и затрат на проведение модельных экспериментов), чем изучение оригинала, иначе моделирование нецелесообразно (проще экспериментировать непосредственно на оригинале).

Существует множество определений понятия математической модели. Общим для всех этих определений является то, что под математической моделью понимают абстрактный заменитель реальной системы, отражающий основные (не все) стороны ее строения или функционирования и создаваемый с целью прогнозирования поведения данной системы и оптимального управления ею.

Математическое моделирование – одно из крупнейших достижений научно-технического прогресса, позволяющее более глубоко проникать в суть

явлений, предсказывать результаты внешних воздействий на систему, что особенно важно вслучаях, когда прямой эксперимент невозможен или является слишком дорогим с экономической точки зрения, или связан с разрушением системы или возможностью возникновения непредсказуемых последствий такого эксперимента.

Необходимо отметить, что нельзя противопоставлять физическое или вещественное моделирование математическому, даже в системном анализе, где применяются математические модели. На каждом этапе исследования системы следует использовать тот метод, который эффективен в данном случае. В процессе построения математической модели нельзя обойтись без экспериментов на материальных моделях для определения вида функций и параметров.

Единая классификация моделей затруднена в силу множества толкований понятия «модель». Их классифицируют по характеру моделируемых объектов, по характеру самих моделей (с учетом различных средств их построения), по сферам приложения моделей.

Модели подразделяют на предметные (физические модели), предметно-математические (аналоговые) и знаковые (различные схемы, чертежи, графики, формулы, графы и т. п.). Важнейшим видом знаковой модели являются математические модели, которые в основном и применяются в системном анализе.

В самом общем виде математические модели в биологии и земледелии можно грубо разделить на описательные (эмпирические) и объяснительные (теоретические или механистические).

Описательные модели служат для «свертывания» и компактного представления экспериментальных данных. Эти модели строятся без глубокого проникновения в суть явлений и предназначаются для практического применения. Иногда модели этого типа называют эмпирическими. Строятся они на основе изучения экспериментальных данных, касающихся структуры и функционирования изучаемой системы, некотором их анализе и нахождении формы уравнения или системы уравнений, коэффициенты которых могут быть установлены по этим же данным. Часто описательные модели строятся по принципу «черного ящика». Сущность этого принципа заключается в исследовании результатов функционирования на выходах системы, если будут определенным образом изменяться входные сигналы. При этом модель не описывает внутреннее строение системы и не анализирует, как и почему происходят изменения на ее выходах. Так, можно изучить реакцию агрофитоценоза на применение различных доз удобрений, орошения и других воздействий, не рассматривая его структуру. В качестве простейшего примера модели этого типа можно привести выражение

$$У = д + aX + вX^2, \qquad (6)$$

где У – урожай или какой-либо другой результат функционирования агрофитоценоза; X – какой-либо из факторов, определяющих величину урожая на фоне других факторов, сохраняющих постоянное значение; *д, а, в* – статистические коэффициенты.

Для построения и практического использования моделей этого типа не требуется профессионального математического образования. Они легко осваиваются биологами и агрономами, имеющими некоторое знакомство с математической статистикой.

Необходимо отметить, что в настоящее время представление результатов исследования в форме лишь словесного описания недостаточно. Результаты исследования должны быть представлены в количественной форме.

Если описательная модель дает представление о том, что произойдет на выходе системы при изменении входных сигналов, то *теоретическая* объясняет, как и почему изменения на входе системы приводят к той или иной реакции на выходе. Так, теоретическая модель системы «почва – растительный покров – приземный слой воздуха» подробно описывает важнейшие процессы трансформации питательных веществ в почве и поступления их в растение, водный обмен, ростовые функции и другие процессы, которые в конечном итоге приводят к образованию урожая.

Модели этого типа, как правило, не подвергают экспериментальной проверке, так как всякая попытка такой проверки оказывается неэффективной. При обнаружении несоответствия модели реальной системе данную модель можно адаптировать. Построение теоретических моделей в отличие от описательных требует глубоких знаний математики. Биолог должен быть подготовлен к диалогу с математиком, чтобы понять логику построения теоретических моделей, а иногда и ставить перед ним новые проблемы.

По способности находить оптимальные решения аналитическими методами модели делятся на оптимизационные и имитационные.

Оптимизационные модели. Модели этого типа создают с целью нахождения наилучшего по избранному критерию решения задачи. Слово «оптимизация» означает процесс отыскания максимума или минимума какого-либо математического выражения или функции. При нахождении максимума применяют термин «максимизация», при отыскании минимального значения функции - «минимизация».

В принципе все модели могут быть использованы для нахождения тех или иных максимумов или минимумов. Однако вполне естественно желание сформулировать модель таким образом, чтобы облегчить отыскание оптимальной комбинации факторов путем решения математической задачи. Нахождение общего класса решений таких задач было названо математическим программированием. Таким образом, термин «программирование» появился еще задолго до того, как были сконструированы вычислительные машины, и слово «программирование» вошло в практику в смысле написания инструкции для ЭВМ, а в агрономическом смысле для определения оптимального уровня и соотношения факторов с целью получения максимального урожая.

В земледелии программирование – процесс разработки плана агротехнических мероприятий, точное и своевременное выполнение которых обеспечивает получение запланированного урожая.

В настоящее время наиболее разработан метод линейного

программирования, широко применяемый для нахождения максимума или минимума линейных целевых функций при одном или более ограничениях, которые также могут быть выражены в виде линейных функций, хотя исходно представляли неравенства.

Необходимо отметить, что условие правильного применения любого метода, в том числе и метода линейного программирования, – доскональное изучение его возможностей.

К особенностям линейного программирования можно отнести следующие:

– линейные модели при линейном программировании не отражают с достаточной полнотой внутреннюю структуру системы;

– принцип аналитико-математических моделей однозначно основан только на точности (и однозначности), а не на достоверности (соответствии действительности);

– огромные трудности для линейного программирования связаны с нелинейными зависимостями, стохастическими элементами в системах.

При использовании линейного программирования вводят при необходимости соответствующие упрощения модели, чтобы избежать трудности в расчетах. Поэтому во многих случаях быстро намечается граница упрощений, начиная с которой результаты моделирования формально верны, но фактически обесценены. Это, очевидно, основная причина неудач применения линейного программирования для решения сложных проблем. Определенная ограниченность возможности применения линейных моделей в сложных сельскохозяйственных системах может устраняться при использовании модели нелинейного программирования.

Следует отметить, что получаемые при использовании оптимизационных методов формально оптимальные решения в действительности не всегда являются таковыми. Так, найденная с помощью метода линейного программирования, оптимальная структура посевных площадей в некоторых случаях не может быть применена на практике, так как при данной структуре создание севооборотов, отвечающих биологическим, агротехническим, организационным требованиям, невозможно. Возникает необходимость производить так называемые пост оптимизационные изменения структуры посевных площадей. При этом нарушается оптимальность структуры и сохраняются все упомянутые выше недостатки метода. Это неизбежно, так как все конкретные особенности каждого хозяйства нельзя отразить в оптимизационной линейной (и нелинейной) модели.

Моделирование – это мощный инструмент в руках исследователя, предназначенный для решения задач прогнозирования и оптимального управления объектами. Как всякий инструмент, модель должна обладать необходимыми качествами, включая экономическиехарактеристики, такие, как стоимость ее разработки и эксплуатации в сопоставлении с ожидаемым экономическим эффектом от внедрения в производство.

Практический опыт показывает, что математические модели как средство, облегчающее выработку лучше плановых и технологических решений, могут

широко применяться в производстве только в том случае, если внедрение их не связано с необходимостью введения трудоемких операций и не вызывает дополнительных трудностей в работе специалистов сельского хозяйства.

Основные требования к модели прикладного характера следующие:

– модели урожайности культур, предназначенные для решения задач управления продукционным процессом, оптимизации систем удобрений, структуры посевных площадей и т. п., должны отражать реальный объект в необходимой степени, при этом, не допуская излишней подробности описания;

– модель во всех блоках должна быть понятной пользователям. В этом случае они уверены в корректности выполняемых с помощью модели действий при выработке решений.

Прогнозирование и программирование урожая на основебалансовых моделей. Балансовый метод программирования урожайности позволяет учитывать комплексное влияние на растение основных факторов жизни. Он основывается на применении более простых физико-статистических моделей продукционного процесса. При этом процедура программирования сводится к определению уровня урожая, расчету доз удобрений, разработке технологических карт и т. д. В основных расчетных формулах используются обобщенные во времени ипространстве почвенно-климатические показатели.

Метод, разработанный в Белорусском НИИ почвоведения и агрохимии, позволяет прогнозировать возможную величину урожая (У) с учетом эффективного плодородия почвы по комплексным показателям – баллу бонитета почвы ($Б_п$) и цены балла пашни ($Ц_б$) по уравнению:

$$У_В = \frac{Б_П * Ц_П * 100}{100 - П_{УД}}, \qquad (7)$$

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

Цена балла пашни для зерновых культур равна в среднем 37 кг зерна, для картофеля – 281 кг, для льна: волокно – 11,4 кг, семена – 9,1 кг. Этот показатель – величина непостоянная и меняется в зависимости от почвенной разности, агрохимических свойств почвы.

Для учета агрохимических свойств почвы применяются поправочные коэффициенты к цене балла пашни. Произведение показателя балла пашни и цены балла дает уровень урожая, который может быть получен за счет эффективного плодородия почвы без применения удобрений на фоне высокого уровня агротехники.

Метод нашел широкое применение при программировании урожаев в Белоруссии. Средние отклонения фактической урожайности культур от расчетной величины составляют 10–20 %. При неблагоприятных условиях погоды они, естественно, возрастают.

В БелНИИПА под руководством Т. Н. Кулаковской разработана интегральная модель оптимальных свойств средне- и легкосуглинистых почв, эффективное плодородие которых дает возможность получать 45–60 ц/га зерна, или 65–75 ц/га корм. ед. Модель позволяет прогнозировать изменение во времени исходного состояния свойств почв под воздействием факторов

интенсификации. На ее основе возможно плановое управление процессами расширенного воспроизводства плодородия почв.

Оптимальные значения основных ее параметров характеризуются следующими показателями: мощность пахотного горизонта – 25–30 см; содержание доступных форм макроэлементов (в мг/100 г почвы) – азота (NO_3^- + NH_4^-) – 3–4,5; фосфатов – 25–30 (по Кирсанову); обменного калия – 20–25; магния – 10–12; содержание микроэлементов (мг/кг почвы): меди – 3–4, кобальта – 0,8–1,2, молибдена – 0,1–0,4, бора – 0,5–0,6, цинка – 6–7; реакция почвенного раствора – pH_{KC1} – 6,0–6,5, pH_{H2O} – 6,5–7,0, подвижный алюминий отсутствует, гидролитическая кислотность – 1,5–2 мг•экв / 100 г почвы, сумма поглощенных оснований – 8–12 мг•экв /100 г почвы, степень насыщенности основаниями почвенного поглощающего комплекса – 80–90 %; объемная масса – 1,1–1,2 г/см^3; порозность общая – 50–55 %, воздухоемкость – 25–30 %; высокая активность почвенных ферментов – инвертазы (более 1 мг глюкозы), полифенолоксидазы (свыше 3 мг пурпургалина), каталазы (более 1,3 мл кислорода); низкая активность пероксидазы и высокая нитрификационная способность. Для этих почв характерно отсутствие или незначительное проявление эродированности и завалуненности; запас продуктивной влаги в слое 0–50 см к началу вегетации 130–150 мм, коэффициент использования годовых осадков – 0,6-0,7.

Установлены для повышения содержания гумуса в почве на 0,1 % требуется внесение на гектар 30–40 т навоза; для увеличения на 1мг/100 почвы P_2O_5 и K_2O – соответственно 40–45 кг/га фосфорных и 60–70 кг/га калийных удобрении; для смещения pH в первый год на 0,15–0,2 на суглинистых почвах и на 0,2–0,35 на супесчаных – внесение 1 т/га качественных известковых материалов.

Моделирование плодородия почвы. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур осуществляется в основном в результате улучшения плодородия почвы, а также подбора культур и сортов, наиболее приспособленных к данным почвенно-экологическим условиям. В некоторых случаях затраты средств на создание сортов, устойчивых, например, к засолению или повышенной кислотности, времени избыточному увлажнению, могут оказаться ниже, чем затраты на коренное улучшение почвы. Однако главное направление – повышение плодородия почвы, так как почти все агротехнические мероприятия, направленные на увеличение урожайности, связаны с теми или иными способами (механическими, химическими и др.) воздействия на почву с целью улучшения ее водно-воздушных свойств, химических и физических показателей, биологической активности.

Для решения сложных задач прогноза возможных изменений плодородия почвы при программировании урожайности и обеспечения рационального распределения ресурсов органических и минеральных удобрений между культурами и полями севооборотов необходимо широкое использование методов моделирования. Сложность почвы как открытой многопараметрической системы делает такой подход необходимым, но вместе с тем и чрезвычайно трудным. Количественное описание плодородия почв

требует учета всех их основных свойств и режимов. Упрощенная трактовка способов управления плодородием почвы путем изменения только нескольких изолированных показателей, имеющих непосредственное агрономическое значение (например, pH, содержание гумуса, P_2O_5, K_2O и др.), несостоятельна.

Интенсификация земледелия ставит перед наукой о почвенном плодородии задачу глубокого познания как позитивных, так и негативных процессов, развивающихся в почвах при интенсивном их использовании. В настоящее время недостаточная изученность почв и агроэкосистем как объектов моделирования создает наибольшую трудность в разработке сложных математических моделей почвенного плодородия. Создание моделей плодородия почвы пока еще находится на стадии моделирования динамики его элементов. Для решения задач моделирования необходимо, прежде всего, выработать определение понятия плодородия почвы, методы его измерения и правильного выделения основных элементов.

Определение понятия плодородия почвы и количественная оценка уровня почвенного плодородия. Понятие плодородия почвы весьма сложное. В общей форме можно принять, что плодородие почвы есть ее способность удовлетворять потребность растений в элементах питания, воде, воздухе, тепле, свете и физико- химических условиях.

В агрономическом (технологическом) смысле под плодородиемпонимают способность почвы служить растениям средой обитания, источником и, главное, посредником в обеспечении земными факторами жизни (водой, питательными веществами и др.), обеспечивать возможность индустриального ведения производства,быть устойчивой против всех факторов разрушения.

В настоящее время можно встретить различные варианты толкования понятия плодородия почвы: естественное, природное, потенциальное, базисное, эффективное, текущее, полное. Природное плодородие почвы определяется как совокупность ее свойств и режимов, весь комплекс экологических условий, на фоне которых она развивается.

Представление о почве как функции проявления факторов почвообразования в их сложном взаимодействии сложилось на основании исследований В. В. Докучаева, основоположника генетического почвоведения.

Плодородие почвы – это ее способность обеспечивать растения питательными веществами, создавать для них определенный водный, воздушный и тепловой режимы и тем самым формировать урожай.

Различают потенциальное (естественное или искусственное) и эффективное (экономическое) плодородие почвы. Потенциальное плодородие определяется запасом в почве гумуса, питательных веществ и другими условиями жизни, являясь основным средством сельскохозяйственного производства. Проявление потенциального плодородия в производственной деятельности, характеризующееся возможностью использования растениями элементов питания для создания урожая, находит свое выражение в эффективном плодородии почв.

К основным показателям плодородия почв можно отнести следующие.

Агрохимические – содержание гумуса, реакция почвенного раствора (pH

водной и солевой суспензии), состояние почвенного поглощающего комплекса (сумма поглощенных или обменных оснований, гидролитическая и обменная кислотности, емкость катионногообмена, степень насыщенности основаниями), валовое содержание и подвижные формы макро- и микроэлементов, необходимых для питания растений.

Агрофизические – гранулометрический состав, структурное состояние, плотность сложения, общая порозность, водные, воздушные и тепловые свойства и режимы почвы.

Биологические – общее число микроорганизмов, их видовой и групповой состав, ферментативная активность, нитрифицирующая, денитрифицирующая и азотфиксирующая активность почвы, интенсивность разложения целлюлозы в почве, интенсивность выделения CO_2.

Экологические – содержание в почве веществ и элементов загрязнителей (тяжелые металлы, остаточные количества пестицидов и т. д.), патогенной микрофлоры и т. п.

Оптимальный уровень плодородия той или иной почвы определяется таким сочетанием ее основных свойств и показателей, при которых могут быть наиболее полно использованы все жизненно важные для растений факторы и реализованы возможности выращиваемых сельскохозяйственных культур.

Те природные почвы, которые существовали 150–200 лет тому назад, к настоящему времени подверглись существенным изменениям. Это вызвано в первую очередь высокой степенью распаханности территории, обработками, мелиорацией, химизацией, заменой естественной растительности культурной, ежегодным безвозвратным отчуждением питательных веществ с урожаем сельскохозяйственных культур. Распашка почв и замена естественной растительности культурной вызывает нарушение динамического равновесия в системе почва – растение. Следствием этого оказывается значительное изменение морфологии почв, их физических свойств, структурного состояния.

Среди факторов, способствующих деградации плодородия, наиболее существенны эрозия и выпахивание.

Эрозия. Сравнительные данные свидетельствуют, что в интервале 20–30 лет обследования площадь эродированных почв и овражно-балочных комплексов может возрастать в 1,5–2 раза.

Противоэрозионная эффективность основных агротехнических приемов совместно с защитными лесополосами позволяет регулировать эрозию. Однако в настоящее время из-за высокой стоимости они не могут быть реализованы в производственных условиях.

Не соблюдаются на практике и почвозащитные севооборота – часто просто по причине гибели посевов в неблагоприятные по климатическим условиям годы. Не воспринимаются такие севооборота и фермерскими хозяйствами неживотноводческого направления. Конъюнктура рынка в значительной мере способствует интенсификации монокультурного производства.

Выпахивание. «Выпахивание» (истощение, «утомление») является другим важнейшим фактором деградации почв. Это очень сложное, но по сути

своей целостное агроэкологическое явление чаще разбивается на частные составляющие:

● патогенное почвоутомление – нарушение санитарного состояния почвы и загрязнение ее патогенными микроорганизмами и вредителями;

● агрохимическое истощение – нарушение баланса питательных элементов вследствие превышения выноса с урожаем над возвратом с удобрениями;

● агрофизическая деградация – ухудшение водно-воздушного режима вследствие утраты почвой структуры и уплотнения;

● агротехническая деградация – ухудшение систем обработки вследствие тех же причин и сопутствующего ухудшения физико- механических свойств пахотного слоя;

● биологическое обеднение – утрата или угнетение полезной микробиоты.

«Утомление» почв приводит к повышению удельного веса менее ценной, а то и отрицательной микрофлоры, снижению биохимической активности почв. В «утомленной» почве более быстрыми темпами происходит подкисление и деградация. Эффективными мероприятиями по снижению действия почвоутомления являются: кратковременная замена фитоценоза, чистый пар, внесение органических удобрений, замена монокультуры на плодосмен (севооборот).

Уровень плодородия почв является определяющим фактором получения высоких и стабильных урожаев сельскохозяйственных культур, в связи с чем в условиях современного земледелия, вопросы сохранения и повышения плодородия почв приобретают первостепенное значение.

Одним из основных показателей потенциального плодородия почвы является содержание в ней органического вещества. Органическое вещество - важный источник элементов питания для растений. В нем содержится почти весь запас азота, значительная часть фосфора и серы, а также часть калия, кальция, магния и других питательных веществ. Оно играет существенную роль в создании агрономически водопрочной структуры, обусловливает физические свойства почвы, предопределяет поглотительную способность, оказывает непосредственное влияние на водный, воздушный и тепловой режимы.

Плодородие почв можно оценить двумя основными способами: первый - оценка плодородия при использовании шкалы бонитировки почв; второй - разработка регрессионных моделей, связывающих уровень урожайности с различными элементами почвенного плодородия.

Оценка плодородия при использовании шкалы бонитировки почв. Балл бонитета почвы показывает отношение ее плодородия (в процентах) для данной культуры к плодородию принятой за эталон почвы, оцениваемому в 100 %. В настоящее время все принципы и методы, используемые при региональных бонитировках почв, можно свести в два основных направления: методы бонитировки на основе количественного учета показателей свойств почвы, коррелирующих с урожайностью, и методы, которые применяют для составления бонитировочных шкал на основе данных урожайности с привязкой

их к группам почв или почвенным разновидностям.

Каждое направление, в свою очередь, представлено группами методов, сходных по какому-либо признаку.

К первой группе первого направления относятся такие методы, на основе которых баллы бонитетов почв рассчитывают, как величины, пропорциональные количественным значениям свойств почв, коррелирующих с урожайностью основных сельскохозяйственных культур, главным образом зерновых. Полученные шкалы бонитетов обычно проверяют путем сопоставления их с имеющимися данными по урожайности для этих почв.

Методы второй группы, так же, как и первой, учитывают количественные показатели свойств почв, но полученные в результате расчетов баллы бонитетов при этом корректируются с помощью дополнительной шкалы по урожайности. Оценку проводят в два этапа: на первом получают шкалы баллов бонитетов, составленные по свойствам почв, на втором баллы бонитетов подвергают корректировке путем расчета средней арифметической величины между этими значениями баллов бонитетов и по сопоставимой урожайности.

Применяют и другие методы корректировки баллов бонитетов, полученных по свойствам почв. В результате первоначальные баллы могут изменять свое значение в окончательной бонитировочной шкале.

К первой группе методов второго направления бонитировки почв относятся методы, при использовании которых бонитировочные шкалы составляют на основе статистических данных по урожайности в хозяйствах с привязкой этих данных к группам почв или типам земель.

Вторая группа включает методы составления бонитировочных шкал на основе прямого учета урожайности сельскохозяйственных культур. Данные прямого учета урожайности привязывают к почвенным разновидностям или определенным свойствам почв.

Для учета влияния на плодородие почв их особенностей (механический состав, эродированность, гидроморфизм, засоленность или солонцеватость и др.) применяют поправочные коэффициенты.

Разработка регрессионных моделей. Второй путь установления связи урожая со свойствами почв основан на использованиирегрессионных моделей. Обычно применяют полиноминальную функцию плодородия (У):

$$У = a_o + a_1x_1^2 + в_1x_1^2 + a_2x_2^2 + в_2x_2^2 + c_1x_1x_2 \ldots, \qquad (8)$$

где *а, в, с* – эмпирические коэффициенты; $X_1, \ldots, X_n$ – факторы плодородия почвы; $в_1 \ldots в_n$ – некоторые функции, определяющие влияние отдельных факторов на урожай.

Выбор элементов плодородия почвы, которые отражают ее состояние и должны учитываться моделью, – один из важнейших этапов системного анализа. Общее число элементов не должно превышать 15–20. В противном случае сложность модели возрастает в такой степени, что она становится непригодной к практическому использованию.

Модели состояния плодородия почв служат для получения справочных данных, с которыми можно сопоставлять фактическое состояние плодородия конкретного поля или региона. Они позволяют выяснить, какие реально

достижимые цели могут быть поставлены перед системой управления плодородием в перспективе на ряд лет или оперативно на данный момент, а какие цели не будут достигнуты или сопровождаются нежелательными побочными последствиями. Модели процессов могут прогнозировать последствия, например, мелиорации или сезонную динамику почвенно-экологических и биологических процессов. Эти модели используют для оперативного управленияформированием, урожая.

В настоящее время для практических целей применяют простые по структуре математические модели прогнозирования состояния или динамики отдельных элементов плодородия - содержания гумуса и его качественных показателей, подвижных форм элементов минерального питания, кислотности почвы. Эти агрономически важные элементы в основном определяют плодородие почвы и используются для прогнозирования урожайности.

Управление плодородием почвы в конечном итоге – это управление его отдельными элементами, в первую очередь теми из них, которые лимитируют урожай.

Моделирование содержания гумуса в почве. Гумус образуется в результате сложных биологических процессов распада и синтеза органических веществ и взаимодействия их с жидкой, твердой и газообразной фазами почвы. В нем содержится 80% серы и почти все количество азота и углерода, адсорбируется около 40-60% фосфора почвы. Он является энергетическим материалом для жизнедеятельности микроорганизмов и грибов, способствующих образованию доступных для растений веществ. При взаимодействии с минеральной частью почвы органическое вещество образует сложные коллоиды, являющиеся основой структуры почвы. Кроме того, органическое вещество почвы обладает значительно более высокой поглотительной способностью, чем минеральные коллоиды.

Чем выше содержание гумуса в почве, тем лучше она удерживает питательные элементы, существенно снижая их потери, лучше поглощает и удерживает элементы-загрязнители (тяжелые металлы, радионуклиды, остаточные количества пестицидов), снижая их поступление в растения. В условиях интенсивного сельскохозяйственного производства трансформация гумусовых веществ во многом зависит от проводимых в агроценозах агротехнических приемов.

Острота проблемы азота в плодородии почв и питании растений также связана с тем, что основная часть почвенного азота входит в состав гумуса, а доступные растениям соли азотной кислоты и аммония хорошо растворимы и легко вымываются или улетучиваются, переходя в газообразные формы. Количество минерального азота, усвояемого растениями в почве, как правило, не превышает 1–3 % от его общих запасов.

Потери гумуса из почвы просчитываются исходя из величины выноса азота с урожаем не бобовых культур в среднем по севообороту за минусом использованного из удобрений и вновь образовавшегося гумуса:

$$Гп = (Ву \times Кп) - 50 – Гв.о. \qquad (10)$$

где Гп – потери гумуса, т/га; Ву – вынос азота урожаем, кг/га; Кп – коэффициент использования азота почвы (0,85-0,88); 50 – коэффициент перевода азота в гумус; Гв.о. – гумус, вновь образовавшийся за счет пожнивно-корневых остатков, т/га.

Интенсивное использование пашни без системного применения удобрений приводит к постепенным возрастающим потерям гумуса. Органоминеральные системы удобрения значительно замедляют процесс распада гумуса, по сравнению с минеральной системой удобрения.

Время и использование почв в сельском хозяйстве оказывают существенное влияние на ход почвообразовательного процесса, на формирование свойств, обеспечивающих оптимальное развитие агрофитоценозов. Утрата органического вещества - одно из проявлений деградации почв.

В основу оценки динамики гумуса во времени под влиянием сельскохозяйственной деятельности и современного почвообразовательного процесса положен один из известных методических подходов – сопоставление результатов анализа почвы перед закладкой опыта и по истечении определенного времени:

– в резком уменьшении содержания гумуса в первые 18–20 лет, или двух ротаций 9–10-польных севооборотов, как следствие несоответствия между процессами новообразования гумуса и его разложением;

– потери гумуса, связанные с развитием эрозионных процессов с последующим «разбавлением» пахотного слоя подпахотным и нерациональным их использованием под пашню, достигают более 50 % по сравнению с целинными аналогами;

– баланс гумуса во многом определяется погодными условиями: в полосе влажных лет усиливаются процессы гумификации, а в засушливой – минерализации; степень гумификации органического вещества низкая и колеблется от 11,3–12,0 до 26,0–34,0 %, а количество негидролизуемого остатка очень высоко и достигает 80 %, что дает «стабильность» содержанию гумуса;

– последующие ротации севооборотов приводят содержание гумуса в соответствие с агрофитоценозами, в результате чего увеличивается количество поступающего в почву свежего органического вещества, наступает стабилизация в процессах разрушения гумусовых веществ и устанавливается динамическое равновесие гумуса.

Моделирование содержания подвижных питательных веществ в почве. Прогнозирование азотного режима почвы. Питание растений предопределяет уровень содержания в почве доступных форм азота. Азот почвы представлен органическими соединениями, входящими в состав гумуса, растительных и животных остатков, микроорганизмов – 99 %. В составе органического азота 65–82 % приходится на долю негидролизуемой фракции, трудногидролизуемого азота – 5–10 %. Азотсодержащие органические соединения становятся доступными растениям лишь после минерализации. Из соединений минерального азота, используемых растениями в значительных количествах,преимущественно являются $N\text{-}NO_3$ и $N\text{-}NH_4$.

В течение ротации севооборота, его звеньев, периода вегетации отдельных культур содержание основных элементов питания в пахотном слое почвы весьма динамично. Это зависит от погодных условий, интенсивности потребления их растениями, уровня применения удобрений.

Применение удобрений способствует улучшению азотного режима и, как следствие, лучшему росту и развитию сельскохозяйственных культур, большему накоплению сухого вещества, а в конечном итоге формированию высокого урожая.

Доступный растениям аммоний в основном представлен обменной формой. Он содержится преимущественно в верхних слоях почвы и менее динамичен в течение вегетации сельскохозяйственных культур. В отличие от нитратов, аммоний менее подвергается вымыванию в подпахотные горизонты.

Прогнозирование фосфатного потенциала почвы. Природные запасы фосфора определяются содержанием его в материнских породах и характером почвообразовательного процесса. Среди неорганических соединений фосфора в почвах преобладают ортофосфаты кальция, алюминия и железа. Содержание доступного растениям подвижного фосфора в каштановых почвах и черноземах колеблется в пределах 10–60 мг/кг почвы и более (по Мачигину). Оптимальный уровень для формирования высокого урожая колеблется: пшеницы – 30–35, подсолнечника и гороха – 27–33, кукурузы – 25–30 мг/кг почвы.

В отличие от азота интенсивное использование пашни с применением известных приемов повышения плодородия почвы не ведет к снижению валовых запасов фосфора. Стабильное содержание фосфора объясняется взаимодействием растений с почвой, вносимыми удобрениями и сопровождается увеличением подвижного фосфора на всю глубину 0–150 см слоя почвы.

Следовательно, агро-хозяйственная деятельность человека положительно влияет на формирование фосфатного режима по всему почвенному профилю, заметно обогащает подпахотный горизонт, т. е. фосфор не выносится из нижних горизонтов (как это принято думать) корневой системой, а наоборот, корневая система, обогащенная фосфором, положительно влияет на содержание P_2O_5 во всем корнеобитаемом слое. Это происходит под влиянием вносимых удобрений, подкисления почвы и корневых выделений.

Среди всех минеральных удобрений фосфорные оказывают наибольшее влияние на фосфатный режим почв. Поэтому применение фосфорных удобрений - одно из важнейших условий повышения плодородия почв и, следовательно, увеличения урожайности культур.

Доступность растениям вносимых с удобрениями фосфатов тесно связана с превращениями их в почве. На основании экспериментальных данных было выделено четыре группы процессов, влияющих на трансформацию фосфатов в почве:

– геохимические – проявляются через увеличение разнообразия форм фосфатов в почве и через вынос-приход фосфора из зоны почвообразования путем разрушения первичных фосфорсодержащих минералов;

– биологические (высшие растения и низшие организмы) – оцениваются

через суммарное количество фосфора, поглощаемого растениями и микроорганизмами. Через иммобилизацию фосфатов, например, большая часть фосфора одной популяции микроорганизмов используется, после их отмирания, последующими популяциями;

– химические (включая биохимию и физхимию) – обусловлены в основном внешними условиями (гидротермические, ОВП, pH, концентрационные), значительно влияющими на состав подвижных фосфатов;

– антропогенные (удобрения и мелиоранты) – наиболее сильно проявляются при внесении фосфорсодержащих удобрений и в связи с отчуждением фосфора из почвы с урожаями.

Систематическое внесение возрастающих доз фосфорных удобрений способствует накоплению в почве прежде всего легкодоступных растениям одно- и двузамещенных фосфатов кальция, а содержание трехзамещенных фосфатов кальция, железа и алюминия повышается незначительно. Наибольшее количество хорошо растворимых фосфатов образуется в типичном и выщелоченном черноземах. При систематическом применении органических удобрений(навоза) содержание подвижного фосфора возрастает. Это связано с тем, что поглощение фосфат иона органическими соединениями сохраняет его в доступной для растений форме.

Как правило, содержание фосфора в почве выше весной, а к лету и осени, к концу вегетации растений, снижается в 1,5–2 раза.

Это объясняется двумя причинами: потреблением его растениями и уменьшением влажности почвы, так как между содержанием в почве влаги и подвижных фосфатов имеется прямая зависимость.

К концу вегетации, по мере уменьшения влажности, в почве освобождаются активные места на поверхности коллоидных и других частиц, замещаемые фосфат ионами. Фосфат-ионы в результате физико-химического взаимодействия также адсорбируются при высыхании почвы в местах растрескивания «гумусовой пленки». Следовательно, все приемы, обеспечивающие накопление и сохранение влаги в почве, способствуют и накоплению усвояемых форм фосфатов.

Доля связанных фосфатов увеличивается с повышением дозы удобрений, а наименьшая их ретроградация наступает при содержании в почве 30–50 мг/кг почвы подвижных фосфатов, определяемых по методу Мачигина. Это соответствует повышенной и высокой обеспеченности почв фосфором.

Содержание в почве подвижного фосфора за счет средних норм удобрений повышается менее значительно, чем $N—NO_3^-$ и $N—NH_4^+$. Содержание подвижного фосфора под влиянием удобрений заметно повышается со 2–3-го года ротации.

Прогнозирование калийного потенциала почвы. Калий находится в почве главным образом в виде первичных и вторичных минералов, таких, как полевой шпат, слюда, иллит, вермикулит и др. Содержание обменного калия в почве определяется ее минералогическим и гранулометрическим составом и достигает 200–600 и более мг/кг почвы.

Минеральная система удобрения, предусматривающая небольшие дозы

калия, обеспечивает поддержание обменного калия в слое 0–60 см на исходном уровне, но заметно обогащает 100–150 см толщу почвы. Органоминеральная система удобрения способствует обогащению почвы обменным калием, особенно при дробном внесении в несколько полей севооборота.

Важным свойством почвы в отношении калия является фиксация калия удобрений глинистыми минералами. Масштабы этого явления зависят от наличия в твердой фазе почвы минералов с определенными межполосными расстояниями, позволяющими им высокоселективно поглощать калий в зависимости от реакции среды, а также от чередования циклов увлажнения и иссушения (увеличивает фиксацию). Если фиксация отсутствует, то необходимо учитывать возможный негативный концентрационный эффект от внесения калийных удобрений. Фиксированный калий может сдвигать равновесие между формами, а при сильном истощении почвенного раствора становится доступным для растений.

Относительно влияния калийных удобрений на другие формы калия в почве имеются различные данные. Западноевропейские исследователи доказывают, что увеличение обменных форм наблюдается после заполнения всех специфических позиций. Российские ученые отмечают одновременное пополнение необменных иобменных форм калия в почве.

На калийное состояние почвы специфическое влияние оказывают органические удобрения. После их внесения потребность в калийных удобрениях резко снижается. Органические удобрения, оказывая благоприятное воздействие на буферную способность почв, сглаживают возможное отрицательное действие минеральных удобрений.

При возделывании культур в зоне рискованного земледелия эффект от калия в один год из трех лет может быть достаточным для окупаемости его ежегодного внесения.

Эффективность калийных удобрений зависит не только от содержания калия в почве, но и от сопутствующих условий - интенсивности севооборота и набора культур, содержания фосфора в почве и фона удобрений, реакции среды и мелиоративных мероприятий.

Прогнозирование реакции почвенного раствора. Лимитирующий фактор роста урожайности во многих регионах страны - pH почвенной суспензии. Отставание темпов химической мелиорации от применения минеральных удобрений снижает эффективность последних, особенно фосфорных. Поэтому устранение повышенной щелочности (или кислотности) почвы должно опережать улучшение ее агрохимических показателей по фосфору и калию.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятию «модель».
2. Классификация моделей.
3. Прогнозирование и программирование урожая на основе балансовых моделей.
4. На чем основывается моделирование плодородия почвы.

5. Как оценивается плодородие почвы при использовании шкалы бонитировки почв?

6. Что включает в себя разработка регрессионных моделей?

7. Моделирование содержания гумуса и подвижных питательных веществ в почве.

8. Прогнозирование фосфатно – калийного потенциала почвы и реакции почвенного раствора.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ И ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Практические занятия предназначены для формирования систематизированных знаний и получения практических навыков в области семеноведения, являющихся основой для решения профессиональных задач агропочвоведения и агроэкологии.

Оценка результатов выполнения задания по каждому практическому занятию производится при представлении студентом отчета о работе и на основании ответов студента на вопросы по тематике практической работы. Студент, самостоятельно выполнивший задание и продемонстрировавший знание материала получает по практическому занятию оценку «зачтено».

Защита результатов практических занятий является формой контроля текущей успеваемости студента.

Тематический план практических (семинарских) (ПЗ) занятий представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Объем (трудоёмкость освоения) и структура ПЗ

Номер практического занятия	Содержание практического занятия	Количество часов ПЗ, очная форма	Количество часов ПЗ, заочная форма
1	Агротехнические основы и практические приемы программирования урожаев	4	
2	Фотосинтетически активная радиация и планирование урожайности по приходу ФАР	2	2
3	Влагообеспеченность посевов полевых культур и определение действительно возможного уровня урожайности	4	2
4	Программирование урожая с учетом теплового режима полевых культур заданной климатической зоны	2	
5	Планирование возможного урожая по биоклиматическому потенциалу	2	2
6	Агрохимические основы программирования урожая и определение его балансовым методом	2	2

Номер практического занятия	Содержание практического занятия	Количество часов ПЗ, очная форма	Количество часов ПЗ, заочная форма
7	Продуктивность и рациональное использование орошаемых земель	2	
8	Составление современных операционных технологий возделывания ведущих сельскохозяйственных культур в различных агроландшафтах	4	
ИТОГО		22	8

2.1. Агротехнические основы и практические приемы программирования урожаев

Цель занятия

Формирование знаний об агротехнических основах и практических приемах программирования урожаев

Методические указания

Используя теоретический материал изучить тему практического занятия, по заданию преподавателя выполнить расчетную часть. Составить отчет по теме работы с письменным освещением контрольных вопросов.

Контрольные вопросы

1. Какие основные требования предъявляются к посевным качествам семян зерновых культур?
2. Каковы показатели кондиционности семян?
3. Что такое «посевная годность семян», методика ее определения?
4. Полевая всхожесть семян. Значение и методика ее определения.
5. Каковы основные различия между полевой и лабораторной всхожестью?
6. Что такое «сохранность» и «выживаемость» растений, методика их определения и основные агротехнические приемы, способствующие повышению этих показателей?
7. Понятие об оптимальной густоте стеблестоя разных культур; ее зависимость от факторов внешней среды и почвенно-климатических условий?

2.2. Фотосинтетически активная радиация и планирование урожайности по приходу ФАР

Цель занятия

Формирование знаний о фотосинтетически активной радиации и планировании урожайности по приходу ФАР

Методические указания

Используя теоретический материал изучить тему практического занятия, по заданию преподавателя выполнить расчетную часть. Составить отчет по теме работы с письменным освещением контрольных вопросов.

Контрольные вопросы

1. Роль солнечной энергии в создании ископаемых энергоносителей.
2. В каких формах поступает солнечная энергия на Землю и в каких единицах измеряется?
3. Что такое ФАР? Методика расчета ФАР за вегетационный период различных сельскохозяйственных культур.
4. В чем сущность методики определения потенциальной урожайности по заданному приходу ФАР?
5. Что такое калорийность и каковы ее средние значения у разных кормовых культур?
6. Каков возможный уровень урожайности в зависимости от КПД ФАР и группировка посевов по коэффициенту использования (КПД) ФАР?

2.3. Влагообеспеченность посевов полевых культур и определение действительно возможного уровня урожайности

Цель занятия

Формирование знаний о влагообеспеченности посевов полевых культур и определению действительно возможного уровня урожайности

Методические указания

Используя теоретический материал изучить тему практического занятия, по заданию преподавателя выполнить расчетную часть. Составить отчет по теме работы с письменным освещением контрольных вопросов.

Контрольные вопросы

1. Классификация видов урожайности.
2. Понятие о ДВУ, ПУ, УП и пути сокращения разрыва между этими показателями.
3. Что такое транспирационный коэффициент? Каковы средние параметры этого показателя для разных групп культур?
4. Зависимость показателя коэффициента водопотребления полевых культур от уровня агротехники, условий влагообеспеченности, культуры, сорта. Единицы измерения.
5. Понятие о суммарном водопотреблении, методика расчета этого показателя, единицы измерения.
6. Какова методика расчета ДВУ по влагообеспеченности, если известны запасы продуктивной влаги перед посевом и если не известны?
7. Каковы особенности расчета ДВУ однолетних и многолетних культур?

2.4. Программирование урожая с учетом теплового режима полевых культур заданной климатической зоны

Цель занятия

Формирование знаний о программировании урожая с учетом теплового режима полевых культур заданной климатической зоны

Методические указания

Используя теоретический материал изучить тему практического занятия, по заданию преподавателя выполнить расчетную часть. Составить отчет по теме работы с письменным освещением контрольных вопросов.

Контрольные вопросы

1. Что входит в понятие «биоклиматические показатели» и биоклиматический потенциал сельскохозяйственных культур, сортов?
2. Каковы средние даты перехода среднесуточных температур через 0, 5, 10, 15 °С и какова сумма температур вышеуказанного уровня?
3. Каковы средние даты наступления возможных поздних весенних и ранних осенних заморозков, продолжительность беззаморозкового периода в разных зонах?
4. Какова устойчивость к заморозкам основных групп сельскохозяйственных культур в разные фазы вегетации?
5. Что характеризует ГТК?

2.5. Планирование возможного урожая по биоклиматическому потенциалу

Цель занятия

Формирование знаний о планировании возможного урожая по биоклиматическому потенциалу

Методические указания

Используя теоретический материал изучить тему практического занятия, по заданию преподавателя выполнить расчетную часть. Составить отчет по теме работы с письменным освещением контрольных вопросов.

Контрольные вопросы

1. Что отражено в формуле А. М. Рябчикова?
2. Понятие – биогидротермический потенциал.
3. От чего зависит величина периода вегетации культур?
4. Что такое биологический урожай?
5. Каково практическое значение оценки биоклиматических показателей?

2.6. Агрохимические основы программирования урожая и определение его балансовым методом

Цель занятия

Формирование знаний о агрохимических основах программирования урожая и его определения балансовым методом.

Методические указания

Используя теоретический материал изучить тему практического занятия, по заданию преподавателя выполнить расчетную часть. Составить отчет по теме работы с письменным освещением контрольных вопросов.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные методы и методики расчета доз удобрений?
2. Законы земледелия и растениеводства, которые следует учитывать

при программировании урожаев и оценке обеспеченности посевов факторами внешней среды и реализация их на практике за счет применения соответствующих элементов технологии возделывания сельхозкультур.

3. Существующие методики расчета доз минеральных удобрений с учетом уровня урожайности и плодородия почвы.

4. В чем особенности методики расчета доз минеральных удобрений при внесении органических удобрений?

5. Каковы особенности методики расчета и внесения минеральных удобрений под многолетние травы?

6. Фактическое состояние с внесением органических и минеральных удобрений в 70–80-е годы прошлого столетия.

7. Дать анализ баланса по выносу питательных веществ и их возврату в почву в настоящее время.

2.7. Продуктивность и рациональное использование орошаемых земель

Цель занятия

Формирование знаний о продуктивности и рациональном использованием орошаемых земель

Методические указания

Используя теоретический материал изучить тему практического занятия, по заданию преподавателя выполнить расчетную часть. Составить отчет по теме работы с письменным освещением контрольных вопросов.

Контрольные вопросы

1. Продуктивность сельскохозяйственного производства.
2. Какие факторы влияют на продуктивность сельскохозяйственного производства?
3. Как повысить продуктивность орошаемых земель?
4. Основные способы поливов.
5. Преимущества капельного орошения.
6. Что такое оросительная норма?
7. Что такое поливная норма?

2.8. Составление современных операционных технологий возделывания ведущих сельскохозяйственных культур в различных агроландшафтах

Цель занятия

Формирование знаний о составлении современных операционных технологиях возделывания ведущих сельскохозяйственных культур в различных агроландшафтах.

Методические указания

Используя теоретический материал изучить тему практического занятия, по заданию преподавателя выполнить расчетную часть. Составить отчет по теме работы с письменным освещением контрольных вопросов.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятий «технология возделывания культур».
2. «Прогрессивная, интенсивная технология».
3. Значение прогрессивных (интенсивных) технологий в увеличении производства растениеводческой продукции и снижении ее себестоимости.
4. Перечислите основные элементы прогрессивной (интенсивной) технологии и дайте обоснование применения каждого из элементов.
5. Роль и место программирования урожаев сельскохозяйственных культур в разработке и применении прогрессивных технологий интенсивного типа.
6. Дайте обоснование роли севооборотов как элемента технологий.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ТЕКУЩЕЙ АТТЕСТАЦИИ

Особенность курса заключается не только в его теоретической, но и практической направленности. Методическая модель преподавания дисциплины основана на проведении еженедельного контроля текущей успеваемости обучающегося.

К текущей аттестации относится защита практического занятия.

При подготовке к текущей аттестации рекомендуется повторить лекционный материал по соответствующей тематике лабораторной работы.

К защите следует представлять практические занятия, оформленные в полном соответствии с заданиями. Выполнять задания следует, придерживаясь алгоритма решения, представленного в учебно-методическом пособии к практическим занятиям.

Оценка «Зачтено» является экспертной и зависит от уровня освоения студентом практического материала, наличия и сущности ошибок, допущенных студентом при ответе на вопросы (таблица 3).

Таблица 3 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок / Критерий	**2**	**3**	**4**	**5**
	0–40 %	**41–60 %**	**61–80 %**	**81–100 %**
	«не зачтено»	**«зачтено»**		
1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
2. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

Для успешного прохождения текущей аттестации студенту следует ответить на один-два вопроса, представленных в конце каждой практического

занятия. В случае, если студент не смог дать полный и верный ответ, преподаватель может задать дополнительные вопросы.

Для прохождения текущей аттестации студент должен показать набор знаний, необходимых для системного взгляда на изучаемый объект и в состоянии решить поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом.

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Согласно учебному плану дисциплины «Методологические основы рационального земледелия и растениеводства» направления подготовки 35.04.04 «Агрономия», студенты заочной формы обучения закрепляют изучаемый материал, самостоятельно в виде выполнению контрольной работы.

Перечень тем контрольной работы определяет преподаватель дисциплины. Номера вариантов и соответствующие им темы курсовой работы приведены в таблице 4.

Однако если студент интересуется какой-либо конкретной проблемой, тему контрольной работы он может предложить сам и согласовать ее с преподавателем дисциплины. Тем не менее, решающим правом выбора темы для студента обладает преподаватель. Основными критериями его решения являются актуальность и научность предлагаемой студентом темы, ее соответствие тематике дисциплины и будущим профессиональным интересам студента.

Таблица 4 – Варианты и темы контрольной работы по дисциплине «Методологические основы рационального земледелия и растениеводства» для студентов магистратуры заочной формы обучения по направлению подготовки Агрономия

Номер варианта курсовой работы	Тема контрольной работы
01	Нормы высева семян полевых культур
02	Посевные качества семян зерновых культур
03	Приходная и расходная части баланса поступающей и аккумулированной посевами солнечной энергии
04	Коэффициент водопотребления полевых культур
05	Биоклиматический потенциал сельскохозяйственных культур
06	Потребность в тепле основных сельскохозяйственных культур разных групп спелости
07	Оценка биоклиматических показателей сельскохозяйственных культур
08	Применение минеральных и органических удобрений с учетом уровня урожайности и плодородия почвы
09	Факторы продуктивности сельскохозяйственного производства
10	Современные агротехнологии сельскохозяйственных культур

Вариант контрольной работы у студентов заочной формы обучения выбирают по номеру зачетной книжки: номер варианта соответствует двум последним номерам этого документа. Например, номер зачётной книжки 2308,

последние цифры «08», значит надо отвечать на вопросы восьмого варианта. Если номер оканчивается цифрами «00», то он соответствует 10-му варианту курсовой работы. В таблице 5 представлена форма для определения номера варианта контрольной работы по номеру зачетной книжки.

Таблица 5 – Соответствие номера зачетной книжки и варианта контрольной работы по дисциплине «Методологические основы рационального земледелия и растениеводства» для студентов заочной формы обучения по направлению подготовки 35.04.04 Агрономия

Последние цифры номера зачетной книжки										Номер варианта контрольной работы
01	11	21	31	41	51	61	71	81	91	01
02	12	22	32	42	52	62	72	82	92	02
03	13	23	33	43	53	63	73	83	93	03
04	14	24	34	44	54	64	74	84	94	04
05	15	25	35	45	55	65	75	85	95	05
06	16	26	36	46	56	66	76	86	96	06
07	16	27	37	47	57	67	77	87	97	07
08	18	28	38	48	58	68	78	88	98	08
09	19	29	39	49	59	69	79	89	99	09
10	20	30	40	50	60	70	80	90	00	10

Контрольная работа должна быть оформлена в соответствии с требованиями, предъявляемыми к контрольным работам.

Стиль и язык изложения материала контрольной работы должны быть четкими, ясными и грамотными. Выполненная контрольная работа представляется для регистрации на кафедру, затем поступает на рецензирование преподавателю.

Положительная оценка («зачтено») выставляется в зависимости от полноты раскрытия вопроса и объема предоставленного материала в контрольной работе, а также степени его усвоения, которая выявляется при ее защите (умение использовать при ответе на вопросы научную терминологию, лингвистически и логически правильно отвечать на вопросы по проработанному материалу). Студент, получивший контрольную работу с оценкой «зачтено», знакомится с рецензией и с учетом замечаний преподавателя дорабатывает отдельные вопросы с целью углубления своих знаний.

Контрольная работа с оценкой «не зачтено» возвращается студенту с рецензией, выполняется студентом вновь и сдается вместе с не зачтенной работой на проверку преподавателю. Контрольная работа, выполненная не по своему варианту, возвращается без проверки и зачета.

5. УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

Основная литература

1. Устименко, Е. А. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур: учеб. пособие / Е. А. Устименко, А. Н. Есаулко, Е. В. Голосной [и др.]. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2019. – 178 с.

2. Агеев, В. В. Основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур: учеб. пособие. / В. В. Агеев, А. Н. Есаулко, Ю. И. Гречишкина [и др.]. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2014. – 200 с.

3. Васина, Н. В. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур: методические указания для практических занятий / Н. В. Васина. – Кинель: РИЦ СГСХА, 2014. – 42 с.

Дополнительная литература

1. Кирюшин, В. И. Агротехнологии: учебник / В. И. Кирюшин, С. В. Кирюшин. – Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2015. – 484 с.

2. Методология науки и современные проблемы в агрономии, агрохимии и агропочвоведении: учебник / Донской ГАУ; сост. Н. А. Рябцева, А. П. Авдеенко, И. В. Фетюхин, С. С. Авдеенко. – Персиановский: Донской ГАУ, 2021. – 183 с.

3. Штерензон, В. А. Моделирование технологических процессов: конспект лекций / В. А. Штерензон. – Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2010. – 66 с.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Устименко, Е. А. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур: учеб. пособие / Е. А. Устименко, А. Н. Есаулко, Е. В. Голосной и др. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2019. – 178 с.

2. Васина, Н. В. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур: методические указания для практических занятий / Н. В. Васина. – Кинель: РИЦ СГСХА, 2014. – 42 с.

3. Штерензон, В. А. Моделирование технологических процессов: конспект лекций / В. А. Штерензон. – Екатеринбург : Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2010. – 66 с.

Локальный электронный методический материал

Александр Иванович Юсов

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И РАСТЕНИЕВОДСТВА

Редактор С. Кондрашова
Корректор Т. Звада

Уч.-изд. л. 4,2. Печ. л. 3,1.

Издательство федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»,
236022, Калининград, Советский проспект, 1