МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»
Агротехнологическая академия
факультет агрономии, садово-паркового и лесного хозяйства

кафедра растениеводства

Изотов А.М., Тарасенко Б.А., Дударев Д.П.

КУРС ЛЕКЦИЙ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНЫЕ ТОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

для обучающихся по направлению подготовки
35.06.01 – Сельское хозяйство

Симферополь
2020

УДК 633 : 631.5
ББК 41/42
И 38

Курс лекций подготовили:
Изотов А.М. – заведующий кафедрой растениеводства, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;
Тарасенко Б.А. – доцент кафедры растениеводства, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;
Дударев Д.П. – доцент кафедры растениеводства, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент.

Курс лекций по дисциплине «Адаптивно-ландшафтные точные технологии» для обучающихся по направлению подготовки 35.06.01 – Сельское хозяйство.
Рассмотрен, рекомендован к изданию и использованию в учебном процессе на заседании кафедры растениеводства Агротехнологической академии
Протокол № 8 от 23 июня 2020 г.

Курс лекций рассмотрен, рекомендован к изданию и использованию в учебном процессе учебно-методической комиссией факультета агрономии садово-паркового и лесного хозяйства Агротехнологической академии
Протокол № 4 от 10 сентября 2020 г.

Курс лекций рассмотрен, рекомендован к изданию и использованию в учебном процессе учебно-методическим советом Агротехнологической академии.
Протокол № 5 от 30 сентября 2020 г.

Рецензенты:
Письменный В.Д., кандидат с.-х. наук, доцент, доцент кафедры растениеводства факультета АСПиЛХ АТА «КФУ им. В.И. Вернадского»
Ильин А.В., кандидат с.-х. наук, доцент, доцент кафедры земледелия и агрохимии факультета АСПиЛХ АТА «КФУ им. В.И. Вернадского»

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой растениеводства Агротехнологической академии ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» Изотов А.М.

© Изотов А.М., Тарасенко Б.А., Дударев Д.П., КФУ, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1. Теоретические основы и факторы формирования продуктивности посевов полевых культур....4
Лекция 1.1. Адаптивность полевых культур, ее использование в управлении продуктивностью посевов....4
Лекция 1.2. Принципы управления адаптивно-ландшафтными точными агротехнологиями в растениеводстве....15
Раздел 2. Управление адаптивно-ландшафтными точными технологиями....24
Лекция 2.1. Контактная диагностика и дистанционное зондирование посевов полевых культур в управлении точными агротехнологиями....24
Лекция 2.2. Адаптивные координатные технологии выращивания зерновых культур....35

РАЗДЕЛ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ПОСЕВОВ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР

Лекция 1.1. Адаптивность полевых культур, ее использование в управлении продуктивностью посевов

(2 часа)

Вопросы:

1. Адаптация сельскохозяйственных растений к изменчивым условиям произрастания.
2. Стресс и стрессовые факторы, влияющие на продуктивность растений.
3. Виды и механизмы адаптации полевых культур к изменению условий среды.
4. Адаптивно-компенсационные возможности посевов на примере озимой пшеницы.
5. Роль адаптационных механизмов полевых культур в управлении агротехнологиями.

Способность растений к адаптации считается проявлением форм надежности биологических систем – биогеоценозов, популяций, видов и организмов, реализацией их адаптивного потенциала в филогенетических и онтогенетических изменениях к условиям среды. Проявляется адаптация комплексно и служит основой выживаемости вида в резко меняющихся условиях местообитания. Адаптацию принято подразделять на генетическую, акклиматизацию и быструю адаптацию. Генетическая – происходит на протяжении многих поколений, включает в себя и мутации. Акклиматизация – присуща фенотипическому уровню. Приспособление растительного организма происходит в пределах информации, содержащейся в геноме. Немедленная адаптация связана с изменениями в конформации макромолекул, уровней активности и характера действия ферментов, изменением pH, концентрации ионов и др. Она является первой линией защиты организма от неблагоприятного влияния внешней среды и вместе с акклиматизацией формирует понятие устойчивости организма к воздействиям факторов внешней среды. Когда этой реакции недостаточно, следуют изменения в экспрессии генов, вызванные сдвигом уровня метаболических процессов или генотипические модификации в поколениях. Процесс адаптации представляет систему реакций организма на экзогенное воздействие в динамике онтогенетического развития. Растения предъявляют специфические требования к требования к теплообеспеченности и температурному режиму, обеспеченности светом, влагой, минеральными веществами. Для них важны физические условия почв, их сложение и структурное состояние, которые в значительной мере зависят от гумусового состояния почв, гранулометрического и минералогического состава, мощности пахотного слоя, степени окультуренности. В случае значительного и резкого отклонения условий произрастания от их оптимальных значений возникают стрессовые ситуации.

Различают биотические и биотические факторы стресса, влияющие на продуктивность растений. В результате неблагоприятных климатических усло-

вий, недостатка или недоступности питательных веществ, биологической конкуренции, в том числе поражения вредителями и болезнями, а также антропогенных воздействий растения часто испытывают стрессовое состояние. Стресс – нагрузка на организм, которая вызывает сначала дестабилизацию, потом нормализацию и повышение устойчивости, а при превышении приспособляемости (адаптируемости) и способности соответствующих механизмов к компенсации отрицательного влияния – отмирание целых растений или их частей. С одной стороны, стресс мешает максимальной реализации генетического потенциала культурных растений, но с другой — способствует, в определенной мере, адаптации растений к неоптимальным условиям. Пока не превышаются пределы приспособляемости растений (эластичный стресс), они реагируют на отрицательные условия стрессовыми реакциями в форме изменения морфологических, физиологических и биохимических функций, чем сводят до определенного уровня наносимый вред. Адаптацией обмена веществ к новым условиям растения снова могут достигать нормальных жизненных функций (гомеостаза). Если стресс превышает генетически обусловленные пределы (пластичный стресс), возникают необратимые процессы, и растения отмирают. Фактор внешней среды, который вызывает стресс, называют стрессором, или стрессовым фактором. Различают абиотические (физические и химические) и биотические стрессовые факторы.

Климатические факторы стресса. С годовыми отклонениями климатических условий от многолетних средних данных связаны колебания в степени поражения посевов вредителями и болезнями, их засоренности. Экстремальные погодные ситуации (засухи, заморозки, ледяная корка, наводнения, ливни, град, сильный ветер, затишье, чрезмерное количество осадков и др.) приводят к большим потерям урожая. Иногда посевы гибнут по причине выпирания, когда при поздней глубокой обработке почвы, она недостаточно оседает. В холодные ночи почва замерзает, а днем при потеплении оттаивает. При этом она вспучивается и приподнимает находящиеся в ней корни растений. Дневное оттаивание приводит к уменьшению объема почвы, и она оседает, что ведет к обрыву корешков и иссушению растений. при низкой температуре верхний слой почвы иссушается в течение всей зимы. Растения погибают от недостатка влаги на замерзшей почве и при сильной дневной инсоляции. При солнечной погоде встречается «ледяной ожог», когда ледяная корка при инсоляции действует как хрустальное стекло. Высокими температурами многие культурные растения повреждаются сильнее и быстрее, чем низкими: постоянная вялость со снижением продуктивности, закручивание листьев или отмирание ассимиляционной площади, отмирание точки роста, отмирание корней, физиологическое старение, подверженность инфекциями. Стрессовые ситуации могут возникать при чрезмерно высокой или слабой интенсивности и продолжительности светового излучения. Высокая его интенсивность может разрушать пластиды и вызывать световые хлорозы и «солнечный ожог». При повреждении протопластов наступает отмирание клеток, которое обусловливается образованием озона и радикалов кислорода под влиянием интенсивной инсоляции с высокой долей ультрафиолетового излучения. Покраснение листьев, вызванное усиленным образованием антоцианов, а также некро-

зов, являются внешними симптомами таких реакций. Это особенно хорошо видно на листьях ячменя, когда появляется непаразитическая бурая пятнистость. Под влиянием интенсивной солнечной инсоляции с озоном в растении наступает оксидативный стресс. Недостаток света вызывает выцветание зеленых органов (хлорозы) и чрезмерное удлинение побегов (этиоляция). С возрастающим самозатенением нижние листья и междоузлия злаковых получают все меньше и меньше света, в результате чего дыхание превышает ассимиляцию, они желтеют и отмирают. Часто этиолирует второе междоузлие, в результате чего оно легко ломается, а растения полегают. В этих случаях возникают благоприятные условия для развития грибковых болезней.

Почвенные факторы стресса. Отклонения химических, физических и биологических свойств почв от нормы в размерах, превышающих толерантные возможности растений, могут вызывать не только снижение урожаев, но и прямые серьезные их повреждения. Недостаток какого-либо элемента приводит к тому, что определенные биохимические и физиологические функции у растений не выполняются, вследствие чего нарушается обмен веществ. В фазе латентного недостатка наружные симптомы не видны, хотя урожайность и/или качество уже могут снижаться. При обострении ситуации возникает абсолютный недостаток минеральных элементов, который выражается в более или менее специфических симптомах на определенных органах растений.

Адаптация высших растений к абиотическим факторам среды обеспечивается посредством двух механизмов: избежания и толерантности. Первый достигается регуляцией ритма развития организма и продолжительности этапов онтогенеза, формированием соответствующих морфологических признаков в эволюционном процессе, а второй обеспечивает выживание растений, позволяет восстановить реакции, вызванные стрессом за счет репарационных процессов. Первоначальная реакция растительного организма на действие любого экзогенного фактора направлена на предотвращение повреждения клеток, органов, тканей и, вероятно, является универсальной, характеризуется быстрой мобилизацией неспецифических защитных систем. Первая фаза реакции, называемая фазой раздражения, характеризуется быстрым отклонением от нормы многих параметров с последующим, уже не таким быстрым, возвращением к норме. Следующая, более продолжительная фаза характеризуется повреждениями и дискоординацией названных систем (гомеостаза мембран, органов, энергозависимых реакций и др.). Если воздействие экзогенного фактора не превышает летального порога, наступает фаза нормализации или фаза адаптации. При этом механизмы адаптации включаются значительно позже наступления метаболических нарушений.

Известно, что растительное сообщество озимопшеничного поля имеет сложную системную организацию с элементами саморегулирования, которая включает отношения отдельных компонентов как друг с другом, так и с окружающей средой. Подход к посевам полевых культур как к растительному сообществу особого типа – агрофитоценозу, может быть одним из важных средств повышения эффективности агротехники. Конструирование полевых фитоценозов следует рассматривать как решающее средство повышения их продуктивности и

экологической устойчивости на основе саморегуляции и эффективного использования ресурсов окружающей среды. Для выработки обоснованных сигналов оперативного управления агротехническими режимами выращивания озимой пшеницы и оценки вероятных последствий их применения была бы полезной информация об адаптационно-компенсационных ответах растительного сообщества на изменение густоты стояния культурных растений. Рассмотрим зависимость числа колосьев на единице площади от густоты стояния растений озимой пшеницы (рис. 1).

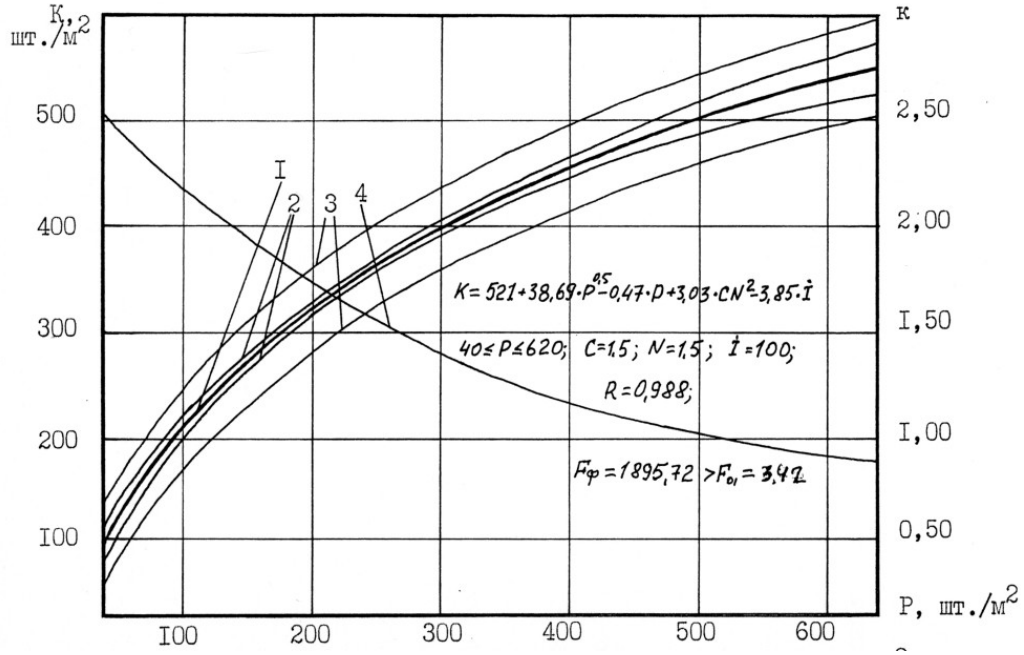

Рис. 1. Зависимость густоты колосьев (*К*) от числа растений озимой пшеницы на 1 м^2 (*Р*)

Кривая откликов густоты продуктивного стеблестоя от числа растений на 1 м^2 представлена восходящей ветвью "смягченной" параболы, плавно переходящей из лимитирующей области в стационарную зону. Закономерное затухание прибавок числа колосьев на 1 м^2 от последовательных приращений густоты стояния растений обусловлено отрицательной обратной связью посев – растение. В сравнительно густом посеве из-за обострения внутривидовой конкуренции существенно снижается коэффициент продуктивной кустистости. При наличии 500-540 раст./м^2 он становится меньше единицы, то есть уже не каждое растение в состоянии формировать колосья.

Снижение густоты посева с 640 до 40 раст./м2 (в 16 раз) приводит к увеличению коэффициента продуктивной кустистости в 2,8 раза. Это свидетельствует о развитом механизме саморегуляции, возможности которого, все же ограничены. Вследствие того, что при линейном снижении густоты растений темпы усиления продуктивного кущения отстают от прогрессивного роста площади питания, возможностей саморегуляции кущения в посеве озимой пшеницы все же недостаточно для поддержания стабильно высокого числа колосьев на 1 м^2 в интервале изучаемых густот.

Адаптация пшеничных растений к условиям произрастания в посевах различной густоты реализуется за счет глубокой регуляции не только интенсивности продуктивного кущения, но и массы зерна, сформированного на отдельном колосе. Хотя в первом случае глубина воздействия приспособительного регулирования в 1,4 раза выше. Во всем изучаемом интервале густот продуктивного стеблестоя (80-640 шт./м^2) наблюдается монотонное, постепенно замедляющееся снижение массы верна со 100 колосьев – с 213 до 98 г (рис. 2).

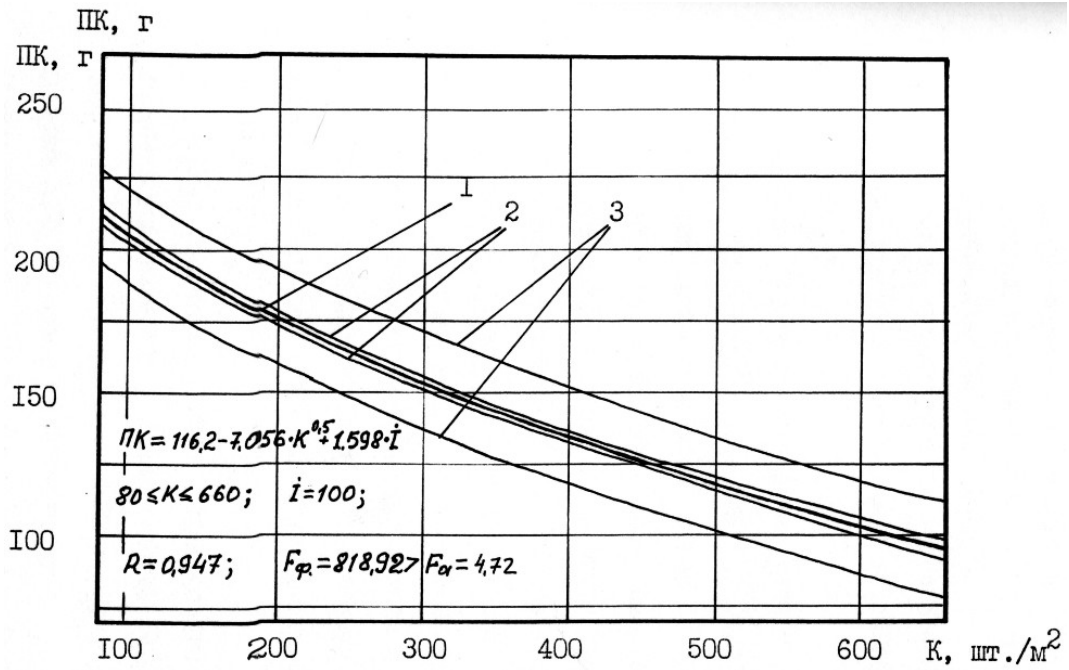

Рис. 2. Зависимость продуктивности (массы зерна) 100 колосьев (ПК) от густоты продуктивного стеблестоя (К)

При снижении густоты колосьев в посеве пшеницы повышение их индивидуальной продуктивности вследствие увеличения площади питания может лишь частично компенсировать падение урожайности.

В период колошения-цветения пшеницы потоки энерго-массообмена посева озимой пшеницы с окружающей средой достигают наивысшего напряжения, обусловливая повышенные требования ее растений к среде обитания. В это же время сорняки, достигнув пика развития, наиболее успешно конкурируют с доминантом. В этот период озимая пшеница, как средообразующая культура, как виолентный доминант, существенно влияет на продуктивность всего полевого растительного сообщества.

Так, максимальная масса растений отмечена при самой высокой густоте растений пшеницы, а доказуемое на 5%-ном уровне значимости снижение биомассы, по отношению к соответствующей густоте посева 550 раст./м^2, отмечается уже при 480-475 раст./м^2. Вместе с тем, озимопшеничный полевой фитоценоз обладает значительными возможностями компенсации эффектов от снижения густоты растений озимой пшеницы. Так, ее одиннадцатикратное уменьшение (с 550 до 50 шт./м^2) безусловно привело к снижению надземной фитомассы агроценоза. Однако ее депрессия в относительном выражении была существенно ниже – 1,35 раза (рис. 3).

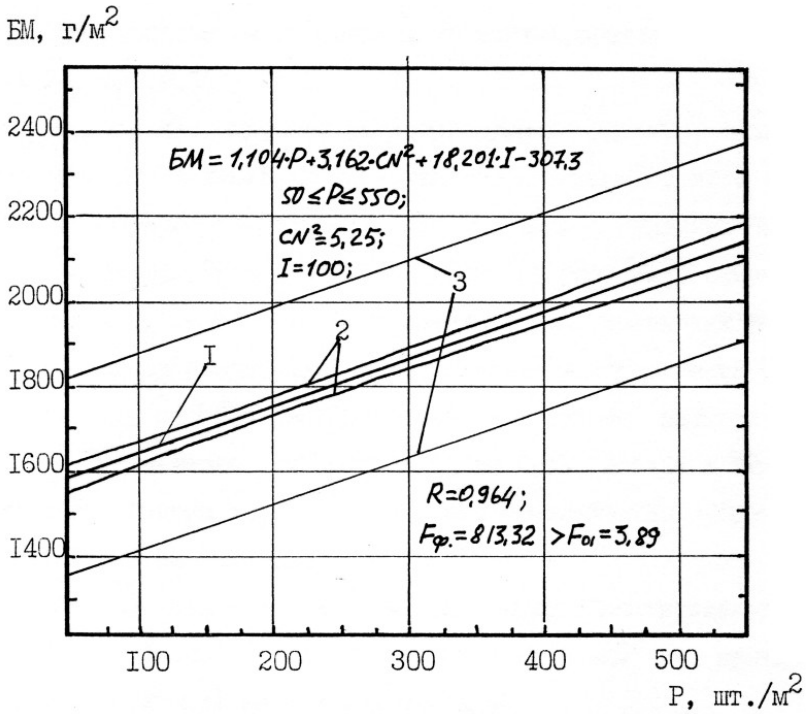

Рис. 3. Зависимость надземной биомассы (БМ) озимопшеничного агрофитоценоза (пшеница + сорняки) от густоты растений доминанта (Р) в период колошения-цветения озимой пшеницы

Особый интерес представляет вопрос о том, как же реагируют отдельные компоненты полевого растительного сообщества – биомассы сорняков и озимой пшеницы на изменение числа ее растений на единице площади? Зависимость величины надземной части фитомассы пшеницы в период колошения-цветения от густоты стояния растений дана на рис. 4.

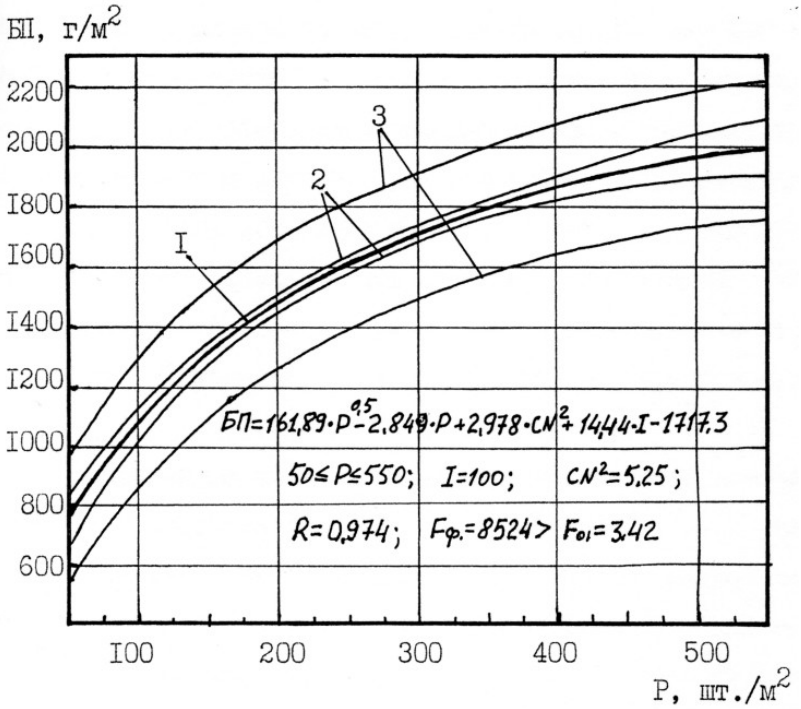

Рис. 4. Зависимость надземной биомассы озимой пшеницы (БП) в период колошения-цветения от густоты растений (Р)

Каждое последующее приращение густоты посева приводит к последовательно сокращающимся прибавкам биомассы. Область эксперимента охватывает лимитирующую зону (менее 300-400 раст./м^2), которая постепенно переходит в стационарную область. При густотах растений свыше 400 шт./м^2 наступает практически полное "насыщение" по данному фактору. Это обусловливает практически индифферентную реакцию биомассы пшеницы, достигшей максимального значения, на дальнейшие приращения густоты посева. Основной компонент агрофитоценоза – озимая пшеница обладает значительными возможностями компенсации снижения густоты растений за счет повышения их индивидуальной массы. Так, уменьшение густоты посева в 11 раз, смягчив внутривидовую конкуренцию, привело к снижению биомассы культуры только в 2,7 раза.

Сравнивая реакцию агрофитоценоза в целом, и озимой пшеницы в частности, на изменение густоты ее растений можно отметить, что в области эксперимента надземная биомасса всего сообщества растений стабильнее биомассы культуры почти в 2 раза. При этом наибольшие различия между этими показателями наблюдаются при густотах ниже 300 раст./м^2. Это явление может быть объяснимо эффектами присутствия второго важнейшего компонента фитоценоза – комплекса сорных растений. Так, кривая откликов надземной массы сорняков от густоты посева имеет форму гиперболы (рис. 5).

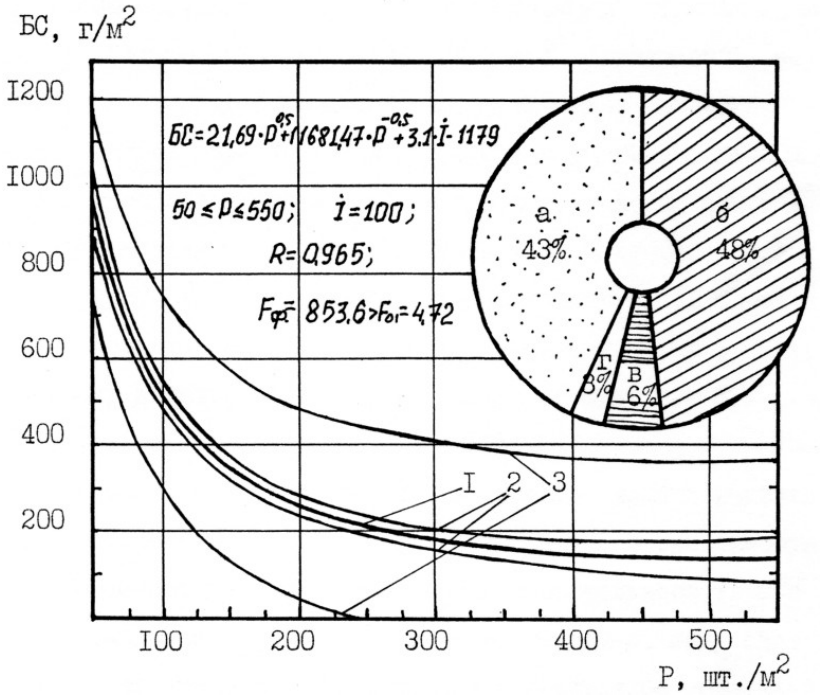

Рис. 5. Зависимость надземной биомассы сорняков (БС) в посеве в период колошения-цветения озимой пшеницы от густоты ее растений (Р)

Она отмечает значительное возрастание засоренности при малых – менее 200 раст./м^2, густотах посева. Дальнейшее ее снижение (менее 150-100 раст./м^2) приводит к резкому, лавинообразному росту биомассы сорняков, которая в редком посеве (при 50 раст./м^2) становится почти в 7 раз больше, чем в посевах с 550 растений озимой пшеницы на 1 м^2.

Следовательно, густота растений является важнейшим фактором повышения конкурентоспособности пшеницы. При этом ее величина, представленная относительной редукцией биомассы сорных растений, в пределах разрешающей способности эксперимента не зависит ни от сроков сева (от 25.09 до 9.11), ни от степени засоренности поля (от 305 до 960 г/м^2 базовой биомассы сорняков). Опираясь на результаты анализа отдельных компонентов полевого сообщества растений, можно рассмотреть характер и степень изменений продуктивности и структуры озимопшеничного агрофитоценоза в целом (рис. 6).

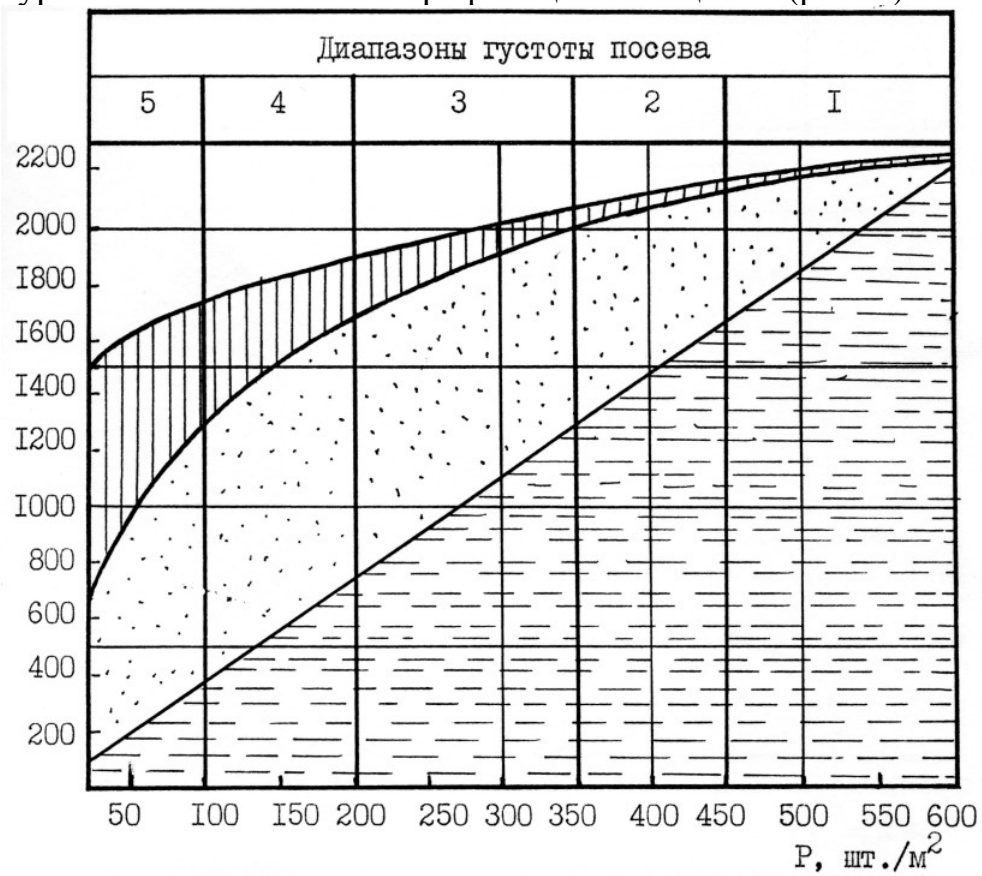

Рис. 3.12 Надземная масса агрофитоценоза и его компонентов в зависимости от густоты растений озимой пшеницы (Р)

1– зона насыщения
2– зона эффективной компенсации
3 – среднеизреженный посев
4 – сильноизреженный посев
5 – редкий посев

На высоких густотах посева формировалась наибольшая биомасса – 2200 г/м^2, в которой на долю пшеницы приходилось более 98%. По мере уменьшения густоты растений доминанта снижалось и общее накопление фитомассы полевым растительным сообществом. Сравнительно редко стоящие растения пшеницы не успевали освоить доступные ресурсы света, воды и пищи. Сорняки захватывали раскрывшуюся экологическую нишу. Впрочем, они уступали пшенице в эффективности использования этих факторов, формируя на единице площади существенно меньшую биомассу. При 25 раст./м^2 масса ценоза составила менее 1520 г/м^2, в том числе сорняков 812 г/м^2 – 53,6 %. При значительном росте засоренности общая продуктивность агрофитоценоза снизилась почти на треть.

К сожалению, общепринятые в настоящее время технологии выращивания полевых культур в действительности очень слабо учитывают их природную адаптивность, то есть приспосабливаемость растений, агрофитоценозов к складывающимся конкретным условиям произрастания. Элементы этих технологий рассчитаны на так называемые средние (среднемноголетние), умеренные условия вегетации, которых в природе фактически не бывает. Входящие в них агроприемы, их параметры не адаптируются в должной мере к изменяющимся погодным условиям. Поэтому они не являются достаточно действенным комплексным средством повышения устойчивости культурных фитоценозов, их защиты от неблагоприятного воздействия природных факторов, стабильного получения высоких по величине и качеству урожаев. Более того, они обусловливают нерациональное расходование средств и даже нередко отрицательное воздействие на окружающую среду, в связи с чем нуждаются в усовершенствовании.

Особенно актуален вопрос о переходе к адаптивным технологиям возделывания полевых культур для Крыма. Многообразие природных зон, различающихся по гидротермическим условиям, и своеобразие климатических условий полуострова, по сути дела, исключают возможность применения каких либо стандартных (единообразных) технологий выращивания полевых культур на всей его территории. Необходимость адаптирования приемов агротехники и их параметров возникает на первых же этапах технологии и продолжается в течение всей вегетации. Погодные условия конкретного года определяют способ и параметры основной и предпосевной подготовки почвы; сроков сева, норм высева и глубины заделки семян; время проведения азотных подкормок и их дозы; необходимость осуществления мер борьбы с сорняками, вредителями, болезнями, а также выбор параметров и их доз; целесообразность проведения мероприятий по повышению качества зерна; время и способы уборки и т. д.

В качестве примера неадаптивного подхода к агротехнике можно привести следующие цифры. В случае сева озимой пшеницы в неадаптированный оптимальный срок, даты которого определяются погодными условиями осени, а в среднемноголетний календарный оптимальный срок (1 декаду октября) потери урожая зерна по Крыму могут составить от 80 тыс. тонн – при посеве позже адаптивно-оптимального срока, до 120 тыс. тонн – при посеве раньше этого срока. Это свидетельствует о несоответствии применяемых (традиционных) технологий новым экономическим требованиям к ним и необходимости их замены новыми – адаптивными, в которых рациональные параметры входящих в них элементов устанавливаются посредством использования оперативного управления ими, основывающегося на математических моделях и информационных технологиях. Результаты технологического прогресса в растениеводстве существенно зависят не только от природных, агрометеорологических, почвенных, материально-технических и экономических факторов, но еще и от качества управления ими, базирующегося на процессе принятия решений, с помощью которого адаптируются к складывающимся условиям параметры агроприемов, определяются их оптимальные значения. Преимущества адаптируемой технологии выращивания пшеницы перед традиционной заключаются в следующем: в алгоритмы при-

нятия технологических решений включается информация, которая по объему значительно превосходит знания отдельного агронома и представляет собой коллективный опыт многих специалистов разных областей знания, отраслей науки, а также количественные модели процессов, оказывающих влияние на формирование урожая; возможность быстрой корректировки алгоритмов принятия решений в соответствии с вновь появившейся информацией, которую необходимо учитывать; исключаются ошибочные действия технолога; значительно уменьшается субъективизм при выборе параметров комплекса агротехнических мероприятий. Но действительная ценность оперативного управления элементами технологии, их адаптирования для сельскохозяйственного предприятия проявляется только тогда, когда оно доведено непосредственно до каждого конкретного поля, на котором выращивается пшеница, с обязательным учетом имеющихся ограничений технологического, физического, биологического, экономического и организационного характера.

Биологическая, экологическая и экономическая эффективность оперативного управления технологией зависит как от особенностей растений возделываемой культуры, так и от функционирования других биологических компонентов фитоценоза с их спецификой саморазвития и саморегуляции. Поэтому техногенные факторы – удобрение, пестициды, орошение и др. должны рассматриваться в качестве важного, но лишь вспомогательного средства управления протекающими в растениях и в агроценозах процессами, которое направлено не на подавление и, тем более, не на разрушение естественных биологических систем, а на более полную реализацию биологического потенциала культурных растений и потенциала условий их произрастания. Адаптивная направленность управленческих решений в применении элементов технологии выращивания озимой пшеницы позволит более эффективно, производительно, рационально использовать ресурсы окружающей среды и экономические, энергетические, материальные средства в интересах и на благо человека, государства, не нанося при этом экологического ущерба.

Основная учебная литература:

1. Адаптивное растениеводство : учебное пособие / В.Н. Наумкин, А.С. Ступин, Н.А. Лопачев [и др.]. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 356 с. — Режим доступа. — URL: https://e.lanbook.com/book/102232 . — ISBN 978-5-8114-2868-7. — Текст : электронный.

Дополнительная учебная литература:

1. Кирюшин, В.И. Агротехнологии : учебник / В.И. Кирюшин, С.В. Кирюшин. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 464 с. — Режим доступа: — URL: https://e.lanbook.com/book/64331 — ISBN 978-5-8114-1889-3. — Текст : электронный.
2. Кирюшин, В.И. Классификация почв и агроэкологическая типология земель : учебное пособие / В.И. Кирюшин. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 288 с. — Режим доступа. — URL: https://e.lanbook.com/book/

71751 . — ISBN 978-5-8114-1097-2. — Текст : электронный.
3. Наумкин, В.Н. Региональное растениеводство : учебное пособие / В.Н. Наумкин, А.С. Ступин, А.Н. Крюков. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 440 с. — Режим доступа. — URL: https://e.lanbook.com/book/90064 . — ISBN 978-5-8114-2300-2. — Текст : электронный.
4. Основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур / В.В. Агеев, А.Н. Есаулко, О.Ю. Лобанкова и др. – 5-е изд., перераб. и доп. – Ставрополь : Агрус, 2014. – 200 с. : ил. – Режим доступа. – URL: http:// biblioclub.ru/index.php?page=book&id=277409 . – ISBN 978-5-9596-0771-5. – Текст : электронный.

Контрольные вопросы:

1. Охарактеризуйте способность растений к адаптации как проявление форм надежности биологических систем.
2. Опишите процесс адаптации растений как систему реакций организма на экзогенное воздействие в динамике онтогенетического развития.
3. Раскройте сущность стресса как нагрузки на организм сельскохозяйственного растения. Охарактеризуйте значение стресса для приспособляемости растений к неблагоприятным факторам.
4. Опишите климатические факторы стресса полевых культур.
5. Охарактеризуйте почвенные факторы стресса полевых культур.
6. Охарактеризуйте виды адаптации полевых культур к изменению условий среды.
7. Охарактеризуйте механизмы адаптации полевых культур к изменению условий среды.
8. Опишите характер степень адаптивно-компенсационной активации продуктивного кущения озимой пшеницы в ответ на снижение густоты посева.
9. Опишите характер степень адаптивно-компенсационной активации продуктивности колоса озимой пшеницы в ответ на снижение густоты посева.
10. Охарактеризуйте динамику изменения структуры и продуктивности озимопшеничного агрофитоценоза в соответствии с густотой стояния культурных растений.
11. Охарактеризуйте роль адаптационных механизмов полевых культур в управлении агротехнологиями.

Лекция 1.2. Принципы управления адаптивно-ландшафтными точными агротехнологиями в растениеводстве

(2 часа)

Вопросы:

1. Перспективы адаптивного управления технологиями выращивания полевых культур.
2. Общие понятия и основные элементы системы точных технологий в полеводстве.
3. Координатное обеспечение точных агротехнологий в растениеводстве.
4. Средства и методы организации и обработки пространственно координированной информации.
5. Принципы дифференцированного применения агротехнических приёмов в точных технологий выращивания полевых культур.

Опыт применения интенсивных технологий выращивания пшеницы и других зерновых культур показал, что они, в своей сути, входят в существенные противоречия с познанными важнейшими законами живой и неживой природы. Эти противоречия имеют системный, долговременный, неодолимый характер и вследствие этого являются значительным препятствием в решении продовольственной проблемы. В связи с большой затратностью невозобновляемых энергетических и материальных ресурсов, существенным загрязнением окружающей природной среды пестицидами интенсивная технология, в такой ее интерпретации, оказалась тупиковым направлением в развитии сельскохозяйственной науки и практики и поэтому нуждается не только в существенном совершенствовании, а даже в коренном пересмотре ее концепции. В связи с этим возникла необходимость в качественно новых, менее затратных, более экологически безопасных технологиях выращивания полевых культур, которые бы предусматривали оптимизацию и дифференциацию составляющих ее элементов, т.е. адекватную корректировку, подстраивание их параметров к меняющимся природным и хозяйственным условиям. Создание таких технологий возможно лишь на основе использования всеобщего природного свойства присущего всем живым существам нашей планеты – адаптивности и возможностей информационных технологий для оперативного управления агротехнологическими операциями. Способность растений к адаптации считается проявлением форм надежности биологических систем – биогеоценозов, популяций, видов и организмов, реализацией их адаптивного потенциала в филогенетических и онтогенетических изменениях к условиям среды. Проявляется адаптация комплексно и служит основой выживаемости вида в резко меняющихся условиях местообитания. Адаптацию принято подразделять на генетическую, акклиматизацию и быструю адаптацию. Генетическая – происходит на протяжении многих поколений, включает в себя и мутации. Акклиматизация – присуща фенотипическому уровню. Приспособление растительного организма происходит в пределах информации, содержащейся в геноме. Немедленная адаптация связана с изменениями в конформации макромолекул, уровней активности и характера действия ферментов, изменением pH,

концентрации ионов и др. Она является первой линией защиты организма от неблагоприятного влияния внешней среды и вместе с акклиматизацией формирует понятие устойчивости организма к воздействиям факторов внешней среды. Когда этой реакции недостаточно, следуют изменения в экспрессии генов, вызванные сдвигом уровня метаболических процессов или генотипические модификации в поколениях. Процесс адаптации представляет систему реакций организма на экзогенное воздействие в динамике онтогенетического развития. Адаптация высших растений к абиотическим факторам среды обеспечивается посредством двух механизмов: избежания и толерантности. Первый достигается регуляцией ритма развития организма и продолжительности этапов онтогенеза, формированием соответствующих морфологических признаков в эволюционном процессе, а второй обеспечивает выживание растений, позволяет восстановить реакции, вызванные стрессом за счет репарационных процессов. Первоначальная реакция растительного организма на действие любого экзогенного фактора направлена на предотвращение повреждения клеток, органов, тканей и, вероятно, является универсальной, характеризуется быстрой мобилизацией неспецифических защитных систем. Первая фаза реакции, называемая фазой раздражения, характеризуется быстрым отклонением от нормы многих параметров с последующим, уже не таким быстрым, возвращением к норме. Следующая, более продолжительная фаза характеризуется повреждениями и дискоординацией названных систем (гомеостаза мембран, органов, энергозависимых реакций и др.). Если воздействие экзогенного фактора не превышает летального порога, наступает фаза нормализации или фаза адаптации. При этом механизмы адаптации включаются значительно позже наступления метаболических нарушений. Адаптация растений связана со специфическим влиянием факторов внешней среды, которое определяется, с одной стороны, их разновидностью, дозой, длительностью воздействия, с другой – биологическими особенностями вида, его функциональным состоянием. При отклонении условий внешней среды от оптимальных значений на разных этапах вегетации осуществляется саморегулирование продукционного процесса, как отдельных растений, так и всего агрофитоценоза в целом, которое выражается в задержке темпов роста и редукции отдельных составляющих продуктивности. Кроме того, при этом происходит частичная компенсация недостаточности одних составляющих элементов величины урожая увеличением количества других. Так, например, изреженность продуктивного стеблестоя пшеницы в благоприятных условиях может компенсироваться повышенной кустистостью растений, озерненностью колоса и выполненностью зерна, а недостаточная озерненность колоса – массой зерна и т.п. Причем эти процессы растянуты по времени вегетации, что усиливает адаптационные возможности растений. В основе всех адаптационных возможностей пшеничного растения лежит всеобщий биологический закон – каждый живой организм должен оставить после себя (в любых условиях) жизнеспособное потомство.

Таким образом, для повышения эффективности растениеводства необходим переход к новым, адаптивным технологиям (включающим в себя оперативное управление их параметрами), базирующимся на дифференцированном ис-

пользовании природных ресурсов, техногенных факторов и адаптивного потенциала культивируемых видов и сортов растений. Такая технология не может быть постоянным, фиксированным, то есть один раз созданным последовательным перечнем агротехнических приемов и их параметров. Они должны изменяться в зависимости не только от условий внешней среды, но и от экономической ситуации на рынке, а агроном должен уметь применять их в соответствии с отклонением условий вегетации от средних и оптимальных значений, с учетом экономического состояния предприятия. Существующая же и повсеместно широко применяемая в современной агрономии практика ориентации на среднегодовую норму метеоэлемента, как правило, не является рациональной. Адаптивная направленность управленческих решений в применении элементов технологии выращивания полевых культур позволит более эффективно, производительно, рационально использовать ресурсы окружающей среды и экономические, энергетические, материальные средства в интересах и на благо человека, государства, не нанося при этом экологического ущерба.

В агрономии утвердился термин «точное земледелие» или «точное фермерство» («Precision Farming»). Название «точное сельское хозяйство» пришло к нам также из иностранной терминологии – от английского слова «precision agriculture». Оно определяется ее как сельскохозяйственная система менеджмента, основанная на информации и технологиях для идентификации, анализа и управления с учетом дифференцированных пространственных и временных почвенных вариаций на отдельно взятом поле, для оптимизации затрат, повышения устойчивости агроценозов и экологической стабильности производства. Главная цель точного земледелия при производстве сельскохозяйственных культур – максимизация урожая, финансовых выгод и минимизация вложений капитала, воздействия на окружающую среду. Основой научной концепции точного земледелия являются представления о существовании неоднородностей в пределах одного поля. Для оценки и детектирования этих неоднородностей используют новейшие технологии, такие как системы глобального позиционирования (GPS, ГЛОНАСС), специальные датчики, аэрофотоснимки и снимки со спутников, а также специальные программы, разработанные для агроменеджмента. Полученные данные применяют для планирования посева, расчета норм внесения удобрений и средств защиты растений, более точного предсказания урожайности и финансового планирования.

Точное земледелие – это комплексная высокотехнологичная система сельскохозяйственного менеджмента, включающая в себя технологии глобального позиционирования (GPS], географические информационные системы (GIS], технологии оценки урожайности (Yield Monitor Technologies), переменного нормирования (Variable Rate Technology), дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) и направленная на получение максимального объема качественной и наиболее дешевой сельскохозяйственной продукции с учетом норм экологической безопасности. В зависимости от временного соотношения между сбором информации и применением соответствующих агротехнических мероприятий различают: – двухэтапные подходы (offline) или подходы на основе картирования; – од-

ноэтапные подходы (online) или подходы с принятием решений в реальном масштабе времени («real-time») или сенсорные подходы; – различные комбинации одно- и двухэтапных подходов или сенсорный подход с поддержкой картированием (map overlay).

Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) предназначена для определения пространственных координат, составляющих векторы скорости движения, поправки показаний часов и скорости изменения показаний часов потребителя в любой точке на поверхности Земли, акватории Мирового океана, воздушного и околоземного космического пространства. Базовым методом определения координат является вычисление расстояния от GPS-приемника до нескольких спутников, расположение которых считается известным. GPS-приемник определяет свое положение в теоретической трехмерной системе координат (x-y-z], затем эти значения конвертируются в координаты широты, долготы и высоты над уровнем моря. Постоянно отслеживая свое местоположение в течение некоторого времени, GPS-приемник может рассчитать скорость и направление движения. Для обеспечения точности вычислений полученный сигнал спутника должен корректироваться с помощью дифференциальной системы позиционирования (DGPS). С помощью дифференцированного коррекционного сигнала устраняется более 90% погрешностей, возникающих в результате влияния атмосферы Земли на спутниковый сигнал. В настоящее время существуют широкозонные, региональные и локальные дифференциальные системы спутниковой навигации. В мире распространены следующие системы дифференциальных поправок: американская WAAS, европейская EGNOS, японские MSAS и QZSS, индийская GAGAN. Эти системы используют геостационарные спутники для передачи поправок всем потребителям, находящимся в зоне их покрытия (2000–5000 км2). Диапазон рабочей зоны региональных систем составляет от 400 до 2000 км2. Локальные системы имеют максимальный радиус действия 50–200 км. Сервисы DGPS условно можно разделить на два типа: наземный и спутниковый. Они в свою очередь могут быть бесплатными и платными. На территории России основными видами спутниковых бесплатных дифференциальных поправок являются системы: EGNOS (только европейская территория России, не включая Южный федеральный округ и Поволжье), обеспечивающая точность радиуса действия 40–50 см; StarFire 1 (фирма John Deere) работает только с фирменным оборудованием и обеспечивает точность 35 см. Среди платных систем коррекции следует отметить спутниковые дифференциальные сервисы Omnistar, предусматривающие несколько видов поправок: Omnistar VBS с точностью 15–20 см, Omnistar HP/XP – 8–10 см, а также StarFire 2 – 10–18 см. К платным наземным поправкам относят системы RTCM и RTK, позволяющие добиться точности 50 и 2...5 см соответственно. Для RTK-режима требуются два специализированных GPS-приемника и два радиомодема. Один приемник, являясь базовой станцией, передает поправку в виде сообщения подвижному приемнику. Оба приемника получают дополнительные данные со GPS-спутников по каналу L2, что способствует повышению точности. Такие поправки передаются по радиоканалу в радиусе 11 км от базовой станции и ограничиваются мощностью передатчика и ре-

льефом местности. Поправки, которые формируются специальным программным обеспечением, встроенным в GPS-приемник, называются внутренними. Они способствуют точности движения сигналов по параллельным рядам от 20 до 30 см. Для этих поправок характерен так называемый «дрейф» позиции (снижение точности с течением времени), который устраняется с помощью периодической коррекции базовой линии.

Геоинформационные технологии – это совокупность приемов, способов и методов применения программно-технических средств обработки и передачи информации, позволяющих реализовать функциональные возможности геоинформационных систем. Они включают: методы дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), системы управления базами данных (СУБД), системы глобального позиционирования (GPS), методы анализа, интернет-технологии, системы картографирования, методы цифровой обработки изображений. Геоинформационные технологии применяются для составления тематических карт хозяйства, таких как карты использования земель, уклонов территории и экспозиций склонов, климатических и гидрологических условий, типов и характеристик почв, агрохимических данных, текущего состояния растений, урожайности и др. На основе анализа данных, представленных на перечисленных картах, осуществляется оценка агроклиматических условий данного хозяйства, необходимости внесения удобрений и возможности выращивания конкретной сельскохозяйственной культуры. Обязательными модулями геоинформационной системы (ГИС) являются: графические и тематические базы данных; преобразование систем координат и трансформация картографических проекций; система управления, анализа и моделирования, система вывода и представления данных; взаимодействие с пользователем.

Основным источником информации для составления прогнозов урожайности служат результаты полевых обследований состояния посевов сельскохозяйственных культур и определение урожайности на отдельных участках поля с обязательной географической привязкой полученных данных. Полученную карту используют для выявления проблемных зон и неравномерности распределения урожая в пределах поля, определения необходимого количества почвенных проб при последующем агрохимическом обследовании, исследования причин снижения урожайности (дефицит питательных веществ, уплотнение почвы, зараженность сорняками и др.), принятия агрономических и управленческих решений, экономической оценки. На карте можно отобразить информацию о влажности зерна, скорости и пути движения комбайна и др. По данным компьютерного мониторинга урожайности составляют план агрохимического обследования полей, на основании которого осуществляют дифференцированное внесение удобрений и проводят обработку химическими средствами защиты растений.

Дистанционное зондирование земли В аграрных ГИС основополагающими данными являются карты полей масштаба 1:10 000. Эти карты могут создаваться с использованием различных технических и программных средств. Максимально точное и полное представление о сельскохозяйственных угодьях можно получить с помощью использования данных дистанционного зондирования земли

(ДЗЗ). Эта технология позволяет получать информацию о поверхности Земли и объектах, расположенных на ней, атмосфере, океанах, верхнем слое земной коры бесконтактными методами, когда регистрирующий прибор удален от объекта исследований на значительное расстояние. Общей физической основой дистанционного зондирования является функциональная зависимость между зарегистрированными параметрами собственного или отраженного излучения объекта, его биогеофизическими характеристиками и пространственным положением. Суть метода заключается в интерпретации результатов измерения электромагнитного излучения, которое отражается либо излучается объектом и регистрируется в некоторой удаленной от него точке пространства. Методы дистанционного зондирования основаны на применении сенсоров, которые размещены на космических аппаратах и предназначены для регистрации электромагнитного излучения в форматах, существенно более приспособленных для цифровой обработки, и в более широком диапазоне электромагнитного спектра. В большинстве методов ДЗЗ используют инфракрасный диапазон отраженного излучения, тепловой инфракрасный и радиодиапазон электромагнитного спектра. Основополагающим методом дистанционного зондирования является аэрокосмическое зондирование, основанное на использовании аэрокосмических снимков. Это двумерное изображение реальных объектов, которое получено по определенным геометрическим и радиометрическим (фотометрическим) законам путем дистанционной регистрации яркости объектов, предназначено для исследования видимых и скрытых объектов, явлений и процессов окружающего мира, а также для определения их пространственного положения. Для обеспечения информационной поддержки работы Минсельхоза России создана система дистанционного мониторинга земель агропромышленного комплекса (СДМЗ АПК). Она предназначена для сбора, обработки и интерпретации данных спутниковых систем ДЗЗ, мониторинга основных параметров землепользования, оценки условий и динамики развития сельскохозяйственных культур, прогноза урожая в основных зерносеющих регионах России.

Дифференцированное внесение материалов. Технологию дифференцированного внесения материалов применяют в основном при таких технологических операциях, как внесение удобрений и средств защиты растений. Согласно этой технологии предусматривается корректировка нормы внесения питательных веществ и средств защиты растений в зависимости от ситуации на каждом отдельном участке поля. Традиционная технология предполагает внесение одной усредненной дозы удобрений для всего обрабатываемого поля, без учета особенностей рельефа, почвенного покрова, показателей освещенности, температуры почвы, необходимого количества влаги, минеральных и органических веществ на каждом участке. Современные способы внесения удобрений должны удовлетворять требованиям экологической безопасности, обеспечивать точное внесение требуемой дозы удобрения в зависимости от различных агрофизических, агрохимических, фитосанитарных и других показателей, характерных для этого участка. В наибольшей степени этим требованиям отвечает технология дифференцированного внесения удобрений, которая является основным структурным

элементом точного земледелия. Работа по данной технологии осуществляется в двух основных режимах: online (режим реального времени) и offline (на основе готовой карты поля). К преимуществам технологии точного земледелия относится возможность электронной записи и хранения информации по истории проведения полевых работ и урожаев, что помогает как при последующем принятии решений, так и при составлении отчетности о производственном цикле. В режиме offline предусматривается предварительное проведение агрохимического обследования и создания карт обеспеченности почвы элементами питания, на которых наглядно представлено распределение по площади поля пространственно обусловленных элементов питания, их неоднородное количественное содержание.

На основе анализа информации картирования полей рассчитывают дозы вносимых минеральных удобрений в физическом весе под планируемый урожай на каждом участке поля и создают карту-задание для дифференцированного внесения удобрений. Её переносят на носителе информации в бортовой компьютер сельскохозяйственной техники, оснащенной GPS-приемником. При движении трактора по полю бортовой компьютер считывает с чип-карты информацию о внесении необходимой дозы удобрений, соответствующую месту нахождения, подает сигнал на контроллер машины для внесения удобрений. Последний в свою очередь, получив сигнал, выставляет на распределителе удобрений нужную дозу. В этом режиме удобно вносить основное удобрение. В режиме online, который обычно используют для подкормки растений, доза удобрений рассчитывается непосредственно во время операции за один проход техники по полю. Сенсорные датчики в реальном времени определяют основные параметры состояния почв, плотность травостоя и его жизнеспособность, содержание хлорофилла в листьях и биомассу растений. Информация передается на бортовой компьютер трактора, управляющего дозирующей системой машины для внесения удобрений. С помощью соответствующего программного обеспечения происходит обработка данных, после чего определяются необходимые для внесения дозы удобрений и посылается сигнал на контроллер по той же схеме, что и в режиме offline.

Основная учебная литература:

1. Адаптивное растениеводство : учебное пособие / В.Н. Наумкин, А.С. Ступин, Н.А. Лопачев [и др.]. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 356 с. — Режим доступа. — URL: https://e.lanbook.com/book/102232 . — ISBN 978-5-8114-2868-7. — Текст : электронный.
2. Жуковский, О.И. Геоинформационные системы / О.И. Жуковский. – Томск : Эль Контент, 2014. – 130 с. : схем., ил. – Режим доступа – URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480499 . – Библиогр.: с. 125-126. – ISBN 978-5-4332-0194-1. – Текст : электронный.
3. Труфляк, Е.В. Точное земледелие : учебное пособие / Е.В. Труфляк, Е.И. Трубилин. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 376 с. — Режим

доступа. — URL: https://e.lanbook.com/book/122186 . — ISBN 978-5-8114-4580-6. — Текст : электронный.

Дополнительная учебная литература:

1. Агрохимическое обследование и мониторинг почвенного плодородия / В.В. Агеев, Л.С. Горбатко, А.И. Подколзин, О.Ю. Лобанкова. – Ставрополь : Ставропольский государственный аграрный университет, 2012. – 352 с. – Режим доступа: – URL: http://biblioclub.ru/
2. Геоинформатика [Текст] : учебник для студентов вузов / МГУ им. М. В. Ломоносова ; ред. В. С. Тикунов. - М. : Академия, 2005. - 477, 2 с. : ил., цв.ил., карты. - ISBN 5-7695-1924-X
3. Защита растений / Л.Г. Коготько, Е.В. Стрелкова, П.А. Саскевич, Ю.А. Миренков. – Минск : РИПО, 2016. – 340 с. : ил. – Режим доступа – URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=463346 . – Библиогр.: с. 317-320. – ISBN 978-985-503-583-2. – Текст : электронный.
4. Кирюшин, В.И. Агротехнологии : учебник / В.И. Кирюшин, С.В. Кирюшин. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 464 с. — Режим доступа: — URL: https://e.lanbook.com/book/64331 — ISBN 978-5-8114-1889-3. — Текст : электронный.
5. Кирюшин, В.И. Классификация почв и агроэкологическая типология земель : учебное пособие / В.И. Кирюшин. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 288 с. — Режим доступа. — URL: https://e.lanbook.com/book/71751 . — ISBN 978-5-8114-1097-2. — Текст : электронный.
6. Наумкин, В.Н. Региональное растениеводство : учебное пособие / В.Н. Наумкин, А.С. Ступин, А.Н. Крюков. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 440 с. — Режим доступа. — URL: https://e.lanbook.com/book/90064 . — ISBN 978-5-8114-2300-2. — Текст : электронный.
7. Основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур / В.В. Агеев, А.Н. Есаулко, О.Ю. Лобанкова и др. – 5-е изд., перераб. и доп. – Ставрополь : Агрус, 2014. – 200 с. : ил. – Режим доступа. – URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=277409 . – ISBN 978-5-9596-0771-5. – Текст : электронный.

Контрольные вопросы:

1. Охарактеризуйте актуальность и перспективы использования принципов адаптивного управления технологиями выращивания полевых культур.
2. Изложите основные понятия системы точных технологий в полеводстве.
3. Назовите и опишите основные элементы системы точных технологий в растениеводстве.
4. Охарактеризуйте значение глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) для координатного обеспечения точных агротехнологий.
5. Изложите общие принципы построения и основы работы глобальных навигационных спутниковых систем.

6. Укажите и охарактеризуйте источники погрешностей позиционирования с помощью глобальных навигационных спутниковых систем.
7. Опишите пути и технические средства повышения точности позиционирования тракторных агрегатов и машин в полеводстве на основе координатных данных систем спутниковой навигации.
8. Охарактеризуйте геоинформационные технологии как средство обобщения и обработки пространственной информации в двухэтапных точных технологиях в растениеводстве.
9. Опишите структуру географических информационных систем и охарактеризуйте их в качестве информационной основы очных агротехнологий.
10. Обоснуйте актуальность дифференцированного применения агротехнических приёмов в точных технологиях выращивания полевых культур.

РАЗДЕЛ 2. УПРАВЛЕНИЕ АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНЫМИ ТОЧНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

Лекция 2.1. Контактная диагностика и дистанционное зондирование посевов полевых культур в управлении точными агротехнологиями

(2 часа)

Вопросы:

1. Предварительная оценка внутрипольной неоднородности почвы.
2. Особенности пространственных распределений факторов почвенного плодородия.
3. Почвенная диагностика в координатных агротехнологиях.
4. Особенности дистанционного зондирования посевов полевых культур в точных агротехнологиях.

В точных агротехнологиях для выработки управляющих решений важным обстоятельством является внутрипольная пространственная неоднородность почвенного покрова. Гетерогенность поля можно установить на основе электропроводности почвы или обратной ей величиной – электрического сопротивления почвы. На практике применяется оборудование, способное к работе с системами DGPS, основанное на двух принципах действия: на измерении постоянного тока и на измерении электромагнитных полей. Так как электропроводность почвы зависит от ее текстуры (воздух и более крупные частицы почвы (песок) действуют как изоляторы, а мелкие поры, заполненные водой, и поверхность мелких частиц (ил) хорошо проводят электрический ток), то можно, при соблюдении определенных условий, на этой основе определить гетерогенность почвы. *Внутрипольная пространственная неоднородность удельного электрического сопротивления почвы*. Среди перспективных методов быстрого, экономного и эффективного измерения характеристик почвы видное место занимает электроразведка: вертикальное элекрозондирование и горизонтальное электропрофилирование.

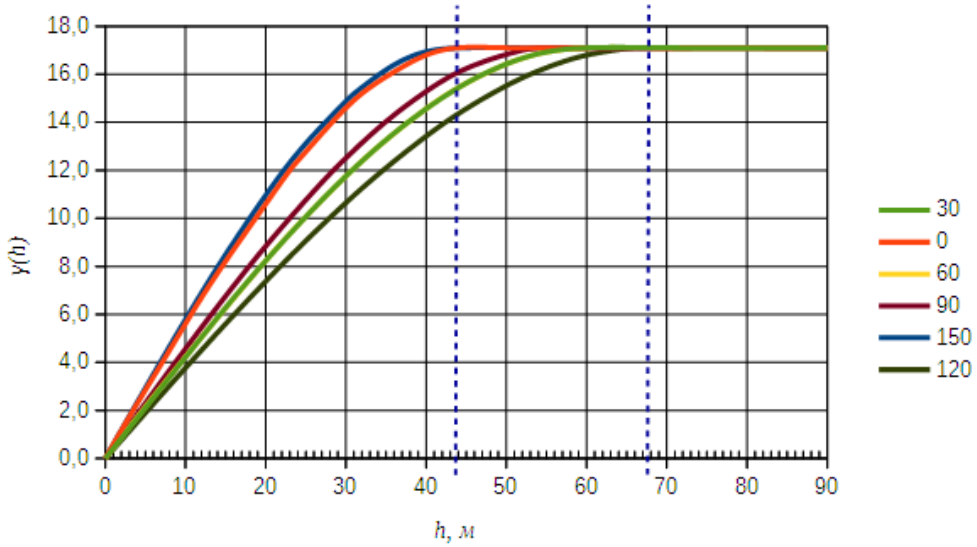

Рис.1. Анизотропия радиусов влияния вариограмм кажущегося электрического сопротивления слоя почвы 0...30 см по азимутам от 0° до 150°

Последний метод применяется для локализации неоднородностей пористости, водоудерживающей (дренажной) способности почв, ёмкости катионного обмена, глубины залегания каменистых пород, засоления почв и грунтовых вод, оптимизации сетки отбора почвенных проб при агрохимическом обследовании полей. В связи с этим на опытном участке было выполнено горизонтальное электропрофилирование на постоянном токе с разносом электродов питающей линии, обеспечивающим вероятную глубинность зондирования до 30см, которая характеризует особенности строения пахотного слоя почвы.

При этом коэффициент анизотропии составил заметную величину (А=1,6). Данное обстоятельство позволяет выдвинуть предположение о наличии в пахотном слое почвы пространственных структур с аномалиями удельного электрического сопротивления, определенным образом вытянутыми в направлении с запада на восток. Эта особенность в целом согласуется с характером рельефа опытного участка. По радиусам влияния вариограмм (от 44 до 67м) можно в первом приближении судить о размерах почвенных аномалий удельного электрического сопротивления. Их весьма ограниченные размеры с одной стороны свидетельствуют о необходимости проведения детализированных (с разрешающей площадью менее 1га) обследованиях почвенного покрова, и с другой стороны – о возможности отработать по этим аномалиям дифференцированными дозами агрохимикатов с помощью современной сельскохозяйственной техники. У эмпирических вариограмм КС после достижения пороговой величины наблюдалась вторая точка перегиба – признак наличия глобального тренда.

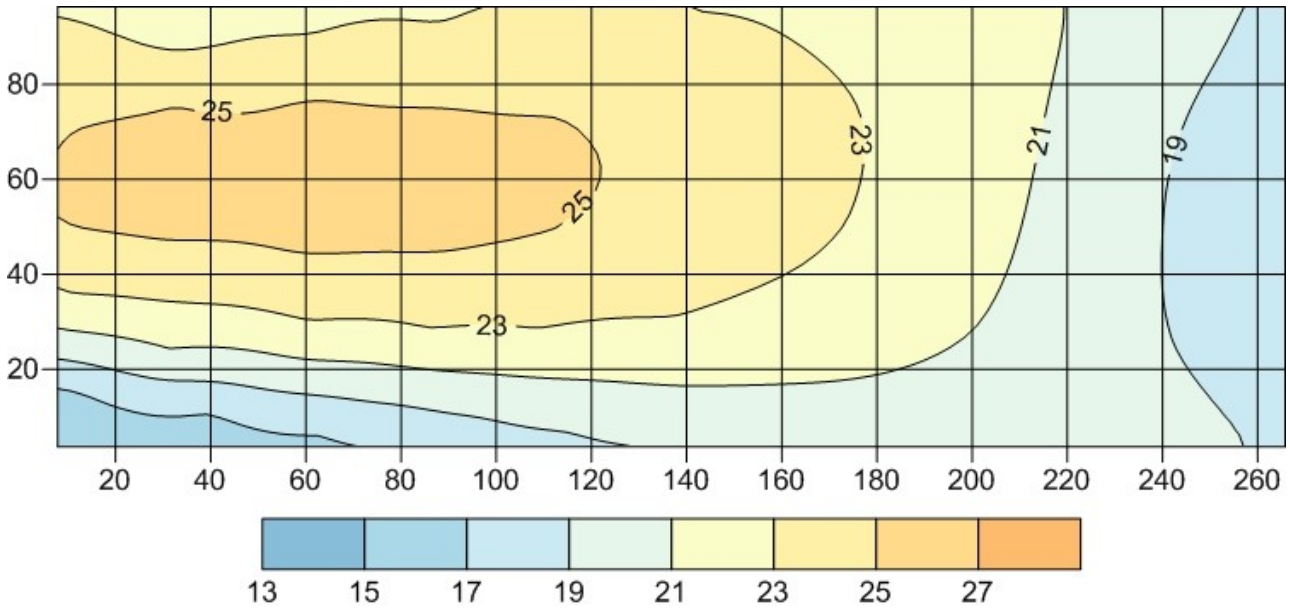

Рис.2. Поверхность пространственного тренда кажущегося электрического сопротивления слоя почвы от 0 до 30 см

После суммирования интерполированных методом кригинга по регулярной сетке остатков от пространственного тренда с соответствующими им значениями тренда получена поверхность распределения КС (рис.3).

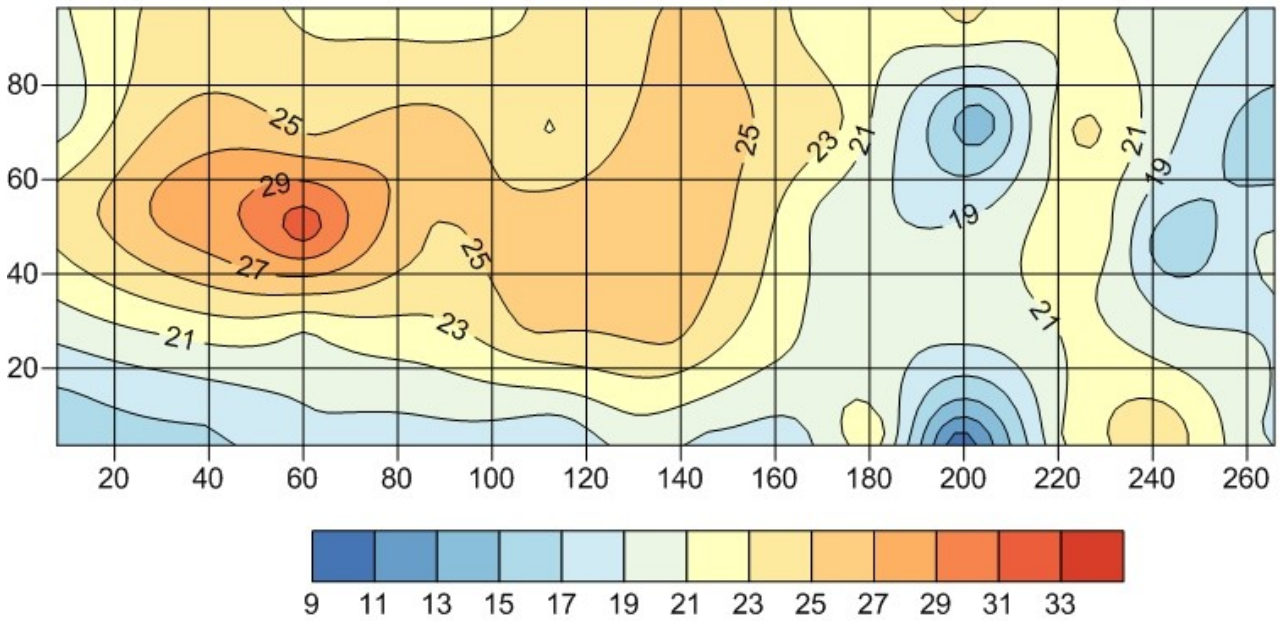

Рис.3. Пространственное распределение кажущегося электрического сопротивления слоя почвы от 0 до 30 см, Ом·м

Пространственное распределение кажущегося удельного сопротивления в слое почвы от 0 до 90см дано на картограмме в соответствии с рисунком 4.

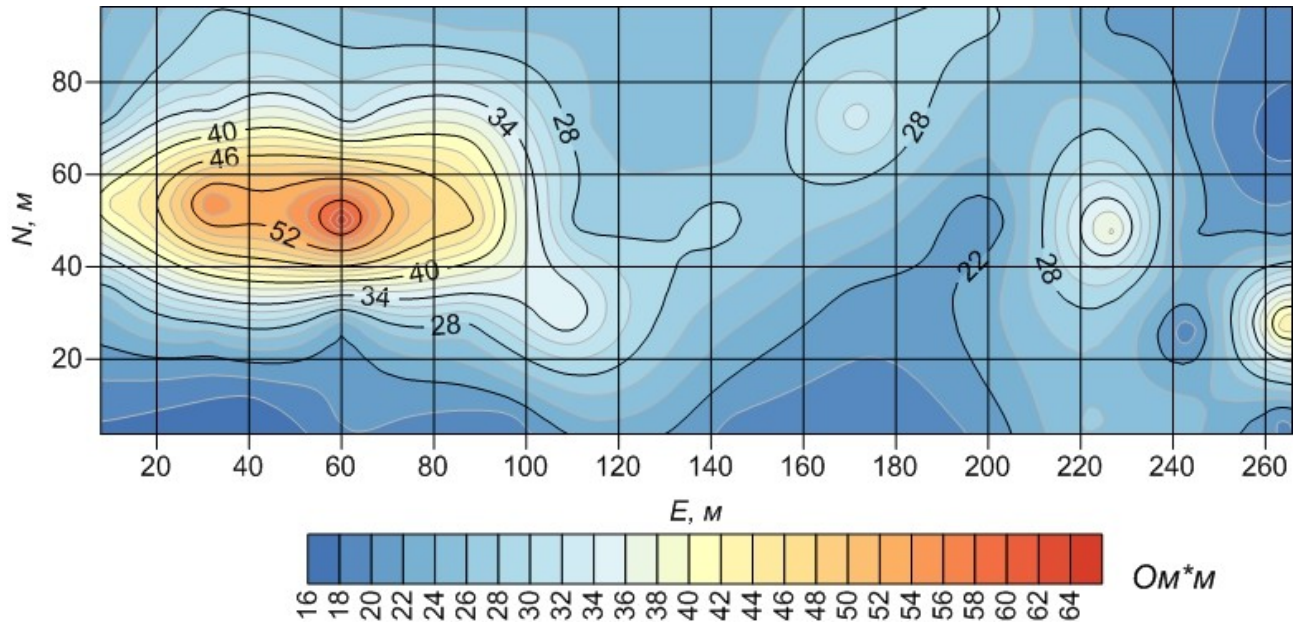

Рис.4. Пространственное распределение кажущегося электрического сопротивления слоя почвы от 0 до 90 см, Ом·м

Дифференцированное плодородие поля можно установить счетчиками массы урожая на уборочных комбайнах. Если исходить из того, что генетический потенциал культурных растений и агроприемы на всех участках поля одинаковы, то можно считать, что растительная масса, которую убирают машины на каждой единице площади поля – важный показатель гетерогенности поля. Поэтому определение урожайности на единице площади поля (картирование урожайности) является пригодным исходным подходом для дифференцированной обработки почвы и для управления развитием посевов на основе картирования урожайности.

Для этого уборочную технику оборудуют счетчиками для измерения потока зерна на элеваторе комбайна и техникой для определения местонахождения.

В рамках дифференцированных двухэтапных агротехнологий необходим отбор проб и образцов почвы для обеспечения экологически и экономически обоснованного применения удобрений с целью повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Этот метод используется для анализа почвы, при создании электронных карт распределения химических веществ и разработке рекомендаций по внесению основных и азотных удобрений. Мелкомасштабная неоднородность почв по глубине и площади является одним из основных ограничительных факторов получения точности результатов почвенных анализов. При этом важнейшей задачей является планирование отбора проб. В некоторых странах регламентируют не только временной режим, но и методы отбора. В Германии, например, согласно требованиям закона, каждые 3–6 лет проводят анализ почв на содержание основных элементов фосфора, калия и магния, а также pH почвенного раствора. При этом используют следующие методы взятия почвенных проб: – отбор почвенных проб следует проводить от всех единиц угодий, которые подвергаются одинаковому хозяйственному использованию; – с участка площадью от 1 до 3 га отбирают усредненную пробу, которая на пашне состоит из 15–30 отдельных проб, на лугах и пастбищах – из 25-40 отдельных проб. По объему проба должна включать 300 г свежей почвы, а если требуется проведение дополнительного анализа содержания микроэлементов, то еще 400 г; – существуют разные схемы обхода площади участка; при последующем обходе выбранная схема должна сохраняться; – глубина взятия проб на пашне обычно составляет 0–30 см, в специальных случаях (анализ подпочвы) – 0–60 см, а на лугах и пастбищах – 0-10 см. Схема отбора проб для определения содержания в почве азота (Nmin): – на небольшой по площади поля (< 10 га) берут одну усредненную пробу, полученную из 15 отдельных проб. Во всех других случаях берут одну усредненную пробу на 3 га. По объему проба должна содержать не менее 500 г свежей почвы; – глубина взятия проб на пашне для разных культур обычно составляет 0–30 и 30–60 см, а для некоторых культур – 60-90 см.

С точки зрения практической реализации концепции управляемого земледелия, особый интерес представляют геостатистические исследования, изучающие масштабы сельскохозяйственных полей. Общий вид и параметры конкретной вариограммы, которая описывает статистическую структуру пространственной неоднородности одного поля, часто могут существенно отличаться от соответствующих характеристик другого, даже близлежащего поля. Поэтому одним из важнейших направлений геостатистических исследований в земледелии должно стать агроэкологическое обобщение эмпирических вариограмм, т.е. установление связей между вариограммными функциями и их параметрами, с одной стороны, и потенциально влияющими на них фоновыми факторами – с другой. Последние могут иметь как естественную, так и антропогенную природу. В качестве первого примера на рис. 5 а, б представлены вариограммы, характеризующие пространственную вариабельность содержания калия (K_2O) и фосфора (P_2O_5) в слое 20-40 см.

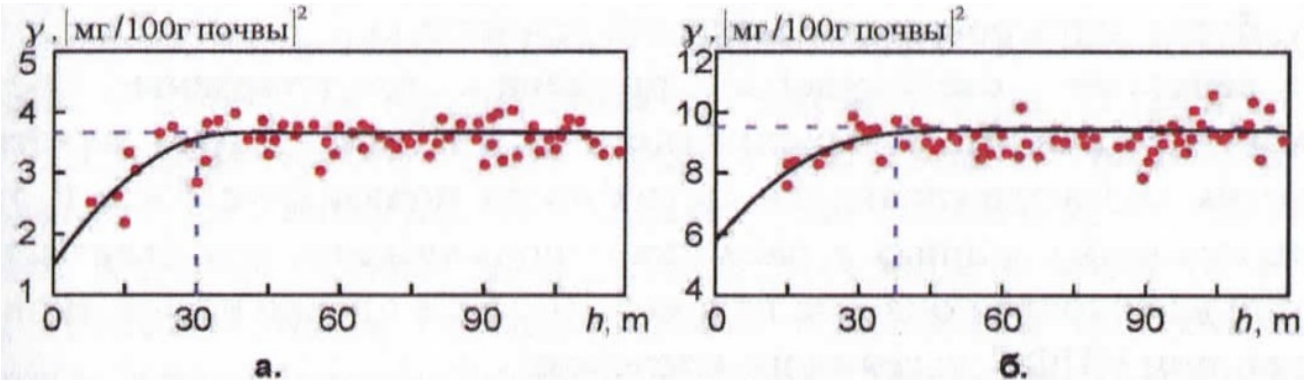

Рис. 5. Примеры эмпирических вариограмм некоторых почвенных показателей: а, б содержание калия и фосфора в слое 0-20 см соответственно

На обоих графиках точки соответствуют расчетным значениям вариограмм, сплошные линии представляют собой сферические аппроксимации. Пунктиры определяют координаты точки (*a*, *C*), где наклонная часть сферической вариограммы переходит в плато.

Как следует из графиков, предельное расстояние *a*, на котором рассматриваемые вариограммы достигают уровня насыщения, находится в границах 30-40м, причем для фосфора оно несколько больше, чем для калия. Отсюда можно заключить, что для построения картограмм варьирования калия и фосфора, соответствующие первичные опробования должны проводиться с шагом, меньшим 30-40м. Разумеется, данный вывод не является универсальным и отражает лишь специфические условия конкретного примера.

Следует также обратить внимание на некоторые различия в значениях показателя который определяет долю случайной микрокомпоненты (долю наггета) в суммарной пространственной вариабельности исследуемого почвенного показателя. Случайная компонента вариаций для обоих почвенных показателей достаточно велика, достигает 42% (ξ= 0,42) суммарной дисперсии вариаций для поля калия и 65% (ξ= 0,65) – для фосфора. Таким образом, поле фосфора является менее структурированным и, по-видимому, будет картироваться с меньшей точностью.

Внутрипольная пространственная неоднородность содержания подвижного фосфора в почве. Обеспеченность растений озимой пшеницы доступными соединениями фосфора является критически важным условием их нормального роста и развития, формирования высокопродуктивных посевов и, в конечном итоге, получения высоких урожаев зерна. Особое значение фосфорное питание приобретает в засушливых условиях произрастания, типичных для летней части вегетационного периода озимой пшеницы (рис. 6).

В целом относительно спокойный «рельеф» распределения подвижных фосфатов несколько осложняется расположенными по периметру поля мелкоконтурными участками с высокой обеспеченностью этим элементом минерального питания растений. Критическая важность фосфорного питания для озимой пшеницы, значительная пространственная вариабельность его содержания в почве, сравнительная крупность контуров аномалий и возможность заблаговременной диагностики обусловливают высокую информативность и агрономическую

значимость этого показателя в рамках точной технологии. Использование характеристики состояния посевов озимой пшеницы для выработки управляющих решений в рамках точной координатной технологии имеет не меньшее значение, чем учет особенностей почвенного плодородия.

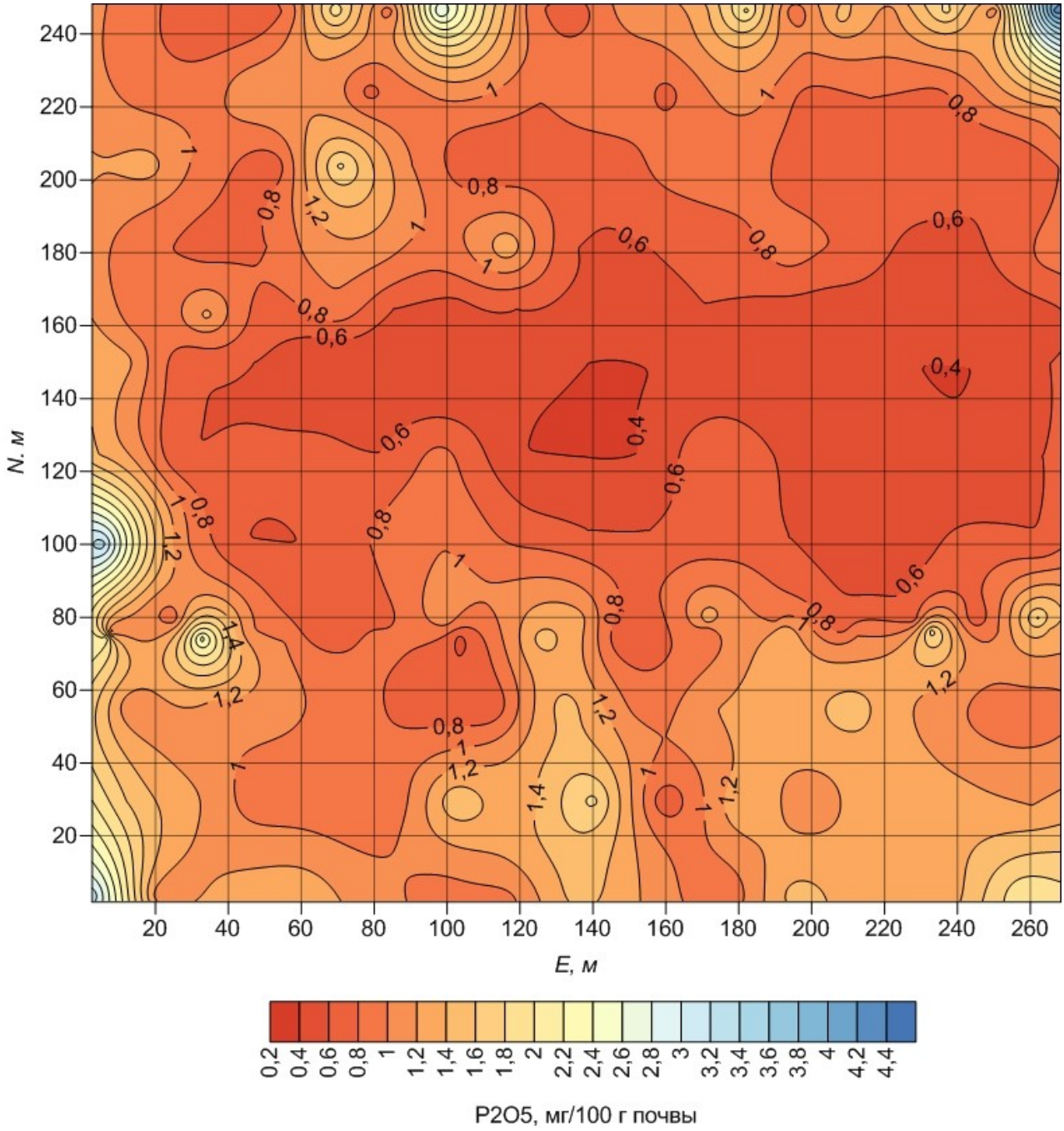

Рис. 6. Внутрипольное пространственное распределение содержания подвижных фосфатов в пахотном слое почвы

В системе точного земледелия используют геокодированную информацию, получаемую в процессе мониторинга и картирования урожайности, измерения электропроводности, составления электронных карт почвы. Применяются также многолетние данные дистанционного (спутникового) зондирования и другие источники информации, с учетом которых можно реализовать растровые и селек-

тивные схемы обхода поля. С целью мониторинга почвы проводится также ежегодный отбор проб на специально выделенных постоянных местах. Планы и схемы обхода полей и выбора точек отбора составляют с помощью ГСП-приемников и специального программного обеспечения. При использовании растровых и селективных схем обхода полей частичные площади объединяют в пробные растровые площади. На практике приняты размеры этих пробных растровых площадей 1–5 га. На каждой из них отбирают 15–20 проб, которые объединяют в смешанную пробу, представляющую частичную площадь. Однако полученные результаты анализов показывают, что реальный подход к определению размера проб может являться приближенным к максимальной точности. С уменьшением размера растра и увеличением диапазона выборки достоверность данных повышается. В настоящее время на различных мобильных средствах монтируют специальные пробоотборники для взятия проб почвы. Это позволяет максимально ускорить рабочий процесс и снизить затраты благодаря механизации процесса отбора проб и частичной автоматизации. На рынке сельскохозяйственной техники предлагаются разнообразные типы механизированных пробоотборников: работающих на основе гидравлических набивающих цилиндров и цилиндров с картушами, либо буров с электропневматическими ударными механизмами, а также различных вариантов спиральных буров.

Для мониторинга и сбора данных на поле в точном земледелии применяется множество подходов. В большинстве случаев было подтверждено на практике, наиболее эффективным методом для быстрого сбора данных с высокой информативностью их значений является дистанционное зондирование.

Данные дистанционного зондирования агроландшафтов в основном разделяют на три категории: спутниковые изображения, изображения, полученные с помощью авиационных летательных аппаратов, и наземные изображения. Спутниковые изображения, как правило, охватывают значительную территорию с относительно фиксированным временным интервалом для повторных наблюдений и характеризуются высокой пространственной разрешающей способностью. Изображения, полученные с помощью авиационных летательных аппаратов, и наземные изображения, как правило, охватывают меньшую по размеру территорию, обладают удобной программой сбора данных и высокой разрешающей способностью. Однако увеличение разрешающей способности сопровождается повышением стоимости. Все три категории данных имеют определенные недостатки, которые накладывают ограничения по их использованию при оценке состояния посевов в точном земледелии.

Методология ТЗ предполагает использование всех доступных средств получения и обработки измерительной информации и базируется на новейших достижениях не только традиционных областей агрономической науки, но и других областей знаний. Для обеспечения высокоэффективного точного управления необходимо располагать сведениями о пространственной структуре управляемых показателей, основных тенденциях и трендах наблюдаемых пространственных изменений, а также о статистической связности значений варьирующихся показателей, характеризующих состояние агрономических объектов.

Дистанционное зондирование можно представить как процесс сбора информации без непосредственного контакта с изучаемым объектом. При помощи специальных приборов регистрируются отражаемые и излучаемые земной поверхностью электромагнитные волны (в основном это излучение в оптическом и радиолокационном диапазонах). В связи с этим особый интерес представляют гиперспектральная съемочная аппаратура и методы анализа и интерпретации материалов гиперспектрального дистанционного зондирования поверхности Земли для решения задач точного земледелия. Гиперспектральные данные являются данными широкого спектра электромагнитного излучения, включая видимый и инфракрасный диапазоны одновременно. В связи с особенностями таких данных требуются новые подходы к разработке более совершенных алгоритмов и программного обеспечения, применяемого для визуализации, анализа, обработки и интерпретации гиперспектральных изображений. Для специалистов ТЗ представляет интерес исследование, в котором представлены преимущества гиперспектральных данных по сравнению с другими материалами дистанционного зондирования применительно к решению задач геологического картирования.

Очевидно, что способность растений к поглощению света зависит от концентрации фотосинтезирующих пигментов и общей площади листовой ассимилирующей поверхности, приходящейся на единицу поверхности почвы, - показателя, известного как индекс листовой поверхности (ИЛП). Основное требование, предъявляемое к индексам отражения при оценке ИЛП, заключается в максимизации спектрального вклада зеленой растительности при минимизации влияния на данный показатель отражения почвы. Известно, что отражение почвы монотонно возрастает в диапазоне видимого - ближнего инфракрасного (ИК) излучения, в то время как отражение растений достигает максимума в видимой и ближней ИК-областях, а в красном диапазоне отражение листьев из-за абсорбции хлорофилла является минимальным. В связи с этим наипростейшие индексы растительности, позволяющие оценить рост растений, являются либо простым отношением между отражением в двух спектральных областях, либо разницей в отражении между ними. Наиболее широкое применение в оценке ИЛП получил нормализованный индекс различий растительности NDVI = (NIR -RED)/(NIR + RED), где NIR и RED - отражение при 750 и 680 нм соответственно. Очевидно, что выявление различий в величине ИЛП посевов возможно лишь на ранних этапах онтогенеза, пока растительный полог остается разомкнутым. Степень нарушения работы фотосинтетического аппарата, вызванного дефицитом питательных веществ, можно измерять при помощи показателей оптических индексов отражения. Вместе с тем ни один вегетационный индекс не дает абсолютных количественных значений исследуемого показателя, а его величина зависит от характеристик используемого оптического сенсора (ширина спектральных каналов, разрешение) и условий, в которых выполняется измерение (освещенность, состояние атмосферы). Используя индексы, можно оценить лишь относительные характеристики растительного покрова, которые при помощи данных специализированных полевых исследований могут быть интерпретированы и пересчитаны в абсолютные значения, пригодные для практических целей. Недостатки определе-

ния, например, дефицита азота у растений по показателям вегетационных индексов устраняются с помощью технологий оценки физиологического состояния посевов по дистанционным снимкам. Это вполне осуществимо, поскольку существует связь между азотным статусом посевов и колориметрическими характеристиками их цифровых изображений.

Измерение цвета относится к области колориметрии и предполагает определение светового потока, исходящего от источника видимого света или объекта, с помощью оптических устройств (приборов) с целью исключения субъективного фактора – зрительного ощущения, возникающего в результате действия света. В настоящее время при измерении цвета после оцифровки его характеристик информация обрабатывается и передается без образца при помощи цифр.

В соответствии с моделью CIE L*a*b*, каждому цвету соответствует точка, которая располагается в евклидовом пространстве, охватываемом данной цветовой шкалой, а различия в цвете между двумя объектами представляют собой расстояние между двумя точками. Когда цвет представляется в пространстве CIE L*a*b*, величина L* обозначает светлоту, a* - величину красной/зеленой составляющей, b* — величину желтой/синей составляющей. По оси L* значения уменьшаются от вершины к основанию.

Аэрофотография посева с тестовыми площадками, полученная с помощью радиоуправляемого мобильного комплекса или другой летательной техники, загружается в программу обработки изображений для измерения колориметрических характеристик. На цифровое изображение посева наносится сетка, пространственные координаты каждой ячейки которой могут быть определены точно, поскольку координаты поля, местонахождение различных ориентиров и технологических полос на нем установлены заранее при помощи системы GPS-навигации (геопривязаны). Размер сетки должен быть подходящим для проведения измерений колориметрических характеристик. Для количественной оценки обеспеченности растений азотом колориметрические характеристики посева на различных участках поля сравнивались с характеристиками посева на тестовых площадках. После анализа цифрового изображения поля и тестовых площадок и выделения на аэрофотографии зон посева, нуждающихся в подкормке, в специальной программе генерируются технологические карты, необходимые для дифференцированного внесения азотных удобрений. Генерация технологической карты-задания на выполнение работ «off-line» производится автоматически для каждой однородной зоны поля, выделенной при дешифрировании снимков. Выделенные зоны можно разбить на более мелкие элементарные участки, которые обычно представляют собой квадрат со сторонами, равными ширине захвата сельскохозяйственной техники.

Основная учебная литература:

1. Адаптивное растениеводство : учебное пособие / В.Н. Наумкин, А.С. Ступин, Н.А. Лопачев [и др.]. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 356 с. — Режим доступа. — URL: https://e.lanbook.com/book/102232 . — ISBN 978-5-8114-2868-7. — Текст : электронный.

2. Жуковский, О.И. Геоинформационные системы / О.И. Жуковский. – Томск : Эль Контент, 2014. – 130 с. : схем., ил. – Режим доступа – URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480499 . – Библиогр.: с. 125-126. – ISBN 978-5-4332-0194-1. – Текст : электронный.
3. Труфляк, Е.В. Точное земледелие : учебное пособие / Е.В. Труфляк, Е.И. Трубилин. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 376 с. — Режим доступа. — URL: https://e.lanbook.com/book/122186 . — ISBN 978-5-8114-4580-6. — Текст : электронный.

Дополнительная учебная литература:

1. Агрохимическое обследование и мониторинг почвенного плодородия / В.В. Агеев, Л.С. Горбатко, А.И. Подколзин, О.Ю. Лобанкова. – Ставрополь : Ставропольский государственный аграрный университет, 2012. – 352 с. – Режим доступа: – URL: http://biblioclub.ru/
2. Геоинформатика [Текст] : учебник для студентов вузов / МГУ им. М. В. Ломоносова ; ред. В. С. Тикунов. - М. : Академия, 2005. - 477, 2 с. : ил., цв.ил., карты. - ISBN 5-7695-1924-X
3. Защита растений / Л.Г. Коготько, Е.В. Стрелкова, П.А. Саскевич, Ю.А. Миренков. – Минск : РИПО, 2016. – 340 с. : ил. – Режим доступа – URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=463346 . – Библиогр.: с. 317-320. – ISBN 978-985-503-583-2. – Текст : электронный.
4. Кирюшин, В.И. Агротехнологии : учебник / В.И. Кирюшин, С.В. Кирюшин. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 464 с. — Режим доступа: — URL: https://e.lanbook.com/book/64331 — ISBN 978-5-8114-1889-3. — Текст : электронный.
5. Кирюшин, В.И. Классификация почв и агроэкологическая типология земель : учебное пособие / В.И. Кирюшин. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 288 с. — Режим доступа. — URL: https://e.lanbook.com/book/71751 . — ISBN 978-5-8114-1097-2. — Текст : электронный.
6. Наумкин, В.Н. Региональное растениеводство : учебное пособие / В.Н. Наумкин, А.С. Ступин, А.Н. Крюков. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 440 с. — Режим доступа. — URL: https://e.lanbook.com/book/90064 . — ISBN 978-5-8114-2300-2. — Текст : электронный.
7. Основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур / В.В. Агеев, А.Н. Есаулко, О.Ю. Лобанкова и др. – 5-е изд., перераб. и доп. – Ставрополь : Агрус, 2014. – 200 с. : ил. – Режим доступа. – URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=277409 . – ISBN 978-5-9596-0771-5. – Текст : электронный.

Контрольные вопросы:

1. Изложите принципы предварительной оценки внутрипольной неоднородности почвенного покрова методами малоглубинной электроразведки.
2. Охарактеризуйте метод вариограммного анализа для оценки внутрипольной неоднородности почвенного покрова.

3. Охарактеризуйте систематическую составляющую внутрипольной неоднородности почвенного покрова.
4. Опишите принципы отбора почвенных образцов для диагностики содержания элементов питания в точных агротехнологиях.
5. Охарактеризуйте эмпирические вариограммы внутрипольной неоднородности содержания подвижного фосфора в почве.
6. Опишите особенности варьирования подвижного фосфора в почве исследуемого участка.
7. Охарактеризуйте принципы метода дистанционного зондирования посевов полевых культур.
8. Опишите и охарактеризуйте вегетационные индексы оценки растительного покрова полевых культур.
9. Дайте сравнительную характеристику вегетационным индексам и колориметрической оценке состояния растительного покрова полевых культур.
10. Опишите метод диагностики обеспечения растений азотом на основе колориметрической оценки посева пшеницы по аэрофотографии.

Лекция 2.2. Адаптивные координатные технологии выращивания зерновых культур

(2 часа)

Вопросы:

1. Основы адаптивной технологии выращивания зерновых культур на примере озимой мягкой пшеницы.
2. Характеристика предшественников озимой пшеницы. Особенности условий произрастания озимой пшеницы в разрезе предшественников.
3. Особенности обработки почвы под озимую пшеницу в соответствии с предшественником.
4. Методы адаптивного дифференцированного внесения минеральных удобрений под озимую пшеницу.
5. Адаптивный метод посева озимой пшеницы в условиях реальной осени.
6. Уход за посевами озимой пшеницы в осенний период и после перезимовки.
7. Уборка урожая озимой пшеницы и формирование товарных партий зерна.

На современном этапе развития зернового хозяйства, особенно при выращивании пшеницы в Крыму, в понятие «высокопродуктивное растениеводство» недостаточно вкладывать только его возможность к образованию высокого урожая, необходимо учитывать его способность к формированию зерна хорошего качества – с высоким содержанием белка. Существующие в настоящее время технологии выращивания озимой пшеницы в большинстве случаев ориентированы на получение возможно высокой для тех или иных условий урожайности без учета качества зерна. Однако следует иметь в виду, что зерно озимой пшеницы с высоким содержанием белка, при этом сформироваться не может, так как в генетической информации пшеничного растения отсутствует программа накопления в нем белка выше биологического для него уровня (около 10%.). Содержание белка в зерне пшеницы выше этого уровня может быть сформировано лишь в особых условиях произрастания, которые земледелец может создать при помощи приемов агротехники. Вот почему технология выращивания высококачественного зерна на современном этапе должна решаться не любой ценой, а на новом уровне, который предполагает применение адаптивных, энергосберегающих и экологощадящих технологий.

Основой адаптивной технологии выращивания высококачественной сильной пшеницы является высокая культура земледелия в хозяйстве, включающая в себя следующие основные элементы: – возделывание наиболее приспособленных к условиям зоны высокоурожайных сортов, относящихся к группе пшениц–улучшителей, то есть сильных; – размещение их посевов по лучшим предшественникам; – своевременное и высококачественное выполнение всех агротехнических приемов, направленных на создание оптимальных условий для роста и развития растений в течение всей вегетации; – обеспечение растений пшеницы элементами минерального питания на рациональном уровне, при дробном внесении азотных удобрений, с корректировкой доз и сроков по данным почвенной и растительной диагностики; – интегрированную защиту посевов от сорняков, бо-

лезней и вредителей; – своевременную и качественную уборку урожая; – применение системы высокопроизводительных машин и орудий при строгом соблюдении агротехнических требований на каждой технологической операции; – высокая квалификация и материальная ответственность кадров за результаты своего труда; – внедрение форм организации труда и экономических стимулов, способствующих получению высоких устойчивых урожаев высококачественного и конкурентоспособного зерна.

Предшественники. Роль предшественников в формировании величины и качества урожая пшеницы вследствие их многогранности и продолжительности воздействия на растение (со времени формирования проростка – до уборки) одна из наиболее значимых среди других агротехнических приемов. Влияние предшественников проявляется через их водный, пищевой и микробиологический режимы. Главным по значимости влияния на урожай в засушливых условиях Крыма является водный режим, который в основном и определяет ценность предшественника. Запасы доступной влаги в метровом слое почвы перед посевом пшеницы после разных предшественников бывает, как правило, неодинаковыми и составляют в среднем по черному пару – 1100, занятому пару (бобово-злаковые смеси на зеленый корм) – 1940, после кукурузы на силос 700, паровой озими 660, подсолнечнику 620 м^3/га. Эти запасы влаги определяют в значительной степени влажность пахотного – 20 см слоя почвы, что имеет решающее значение для получения с осени своевременных и дружных всходов. Полноценные всходы могут быть только при наличии в этом слое не менее 20 мм продуктивной влаги. Если влажность почвы во время сева и в течение декады после его была ниже (около 15 мм), то появляются среднеизреженные всходы, при 10-15 мм и ниже при высокой температуре почвы всходы могут не появиться совсем из-за сильного поражения их плесенью.

К началу весенней вегетации озимой пшеницы запасы влаги в почве разных предшественников не выравнивается и составляет в 1,5-метровом слое (глубина проникновения корней), по пару черному – 1850, занятому – 1726, по непаровым предшественникам – 1256-1490 м^3/га. Таким образом растения пшеницы по парам практически полностью были обеспечены влагой на период вегетации и в меньшей степени зависят от летних осадков. Поэтому урожаи по парам формируются, как правило, более высокие и по годам стабильны. Растения на непаровых предшественниках в значительно большей степени зависят от осадков весенне-летнего периода, которые выпадают неравномерно и коэффициент использования невысокий, так как влага с поверхности почвы быстро испаряется. Это и является одной из главных причин получения по ним невысоких и нестабильных по годам урожаев. Неодинаковые условия водообеспеченности после различных предшественников обуславливают разный уровень водопотребления растений на формирование единицы урожая. наиболее экономно расходует воду пшеница по черному пару (коэффициент потребления 302) и занятому пару (404). Коэффициент водопотребления на стерневом предшественнике в 1,5 раза выше – 514.

Вторым общепризнанным фактором влияния предшественника на величину и качество урожая является его пищевой режим. Ко времени сева почва после различных предшественников содержит неодинаковое количество нитратов. В 0...40 см слое чернозема южного на пару чистом их было 17,6, на пару занятом – 16,0, кукурузе на силос – 13,7, паровой озими – 11,9, подсолнечнике – 10 мг/кг. Даже после пара черного его недостаточно для формирования высокого урожая хорошего качества. Это свидетельствует о том, что пищевой режим предшественников, влияющий на формирование урожая, определяется главным образом не теми запасами питательных веществ, которые бывают в почве перед севом пшеницы, а неодинаковой скоростью минерализации органического вещества в период ее вегетации. Скорость же этой минерализации в значительной мере зависит от остаточного влияния предшествующей культуры, которое проявляется через метаболиты биоценозов микроорганизмов, формирующихся под ее влиянием и являются по сути дела, микробиологическим режимом почвы, а весной через ее биологическую активность. Данные научных учреждений и производственный опыт свидетельствуют, что на лучших предшественниках – паровых полях, ежегодно складываются благоприятные для озимой пшеницы условия. Даже в годы с летней засухой и сухой осенью, при правильной обработке почвы, черные пары в пахотном слое сохраняют запасы влаги, достаточные для получения своевременных, дружных всходов. Ценность занятого пара определяется парозанимающей культурой и временем ее уборки. Чем раньше культура освобождает поле, тем лучшим предшественникам она является. Традиционные для Крыма парозанимающие культуры – озимые и яровые бобово - злаковые смеси на корм. Хорошими предшественниками являются капустные культуры, убираемые на зеленый корм, многолетние травы. Озимый рапс выполняет роль фитосанитара, очищает почву от корневых гнилей и других болезеней.

Эффективность паров чистых и занятых определяется условиями увлажнения района выращивания. В связи с этим, в урожайной зоне Крыма. лучше обеспеченной влагой, пары занятые должны иметь большой удельный вес в группе паровых предшественников, так как они способствуют повышению продуктивности севооборотов. В более сухих условиях степной зоны черные пары имеют несомненные преимущества перед занятыми как по величине урожая, так и по качеству формируемого зерна. Худшими предшественниками озимой пшеницы являются подсолнечник и паровая озимая пшеница, кукуруза на силос как предшественник занимает промежуточное положение (табл. 1).

Таблица 1 – Урожайность озимой пшеницы по предшественникам

Предшественник	Урожайность	
	т/га	%
Пар черный	44	100
Пар занятый	36	82
Кукуруза на силос	31	70
Подсолнечник	26	59
Стерня озимых	27	61

После непаровых предшественников, где создаются жесткие условия для озимой пшеницы, не удается получить стабильных по годам урожаев качественного зерна. По кукурузе на силос, в случае удачно складывающейся конъюнктуры рынка возможно размещение семенных посевов озимой пшеницы. В общем по непаровым предшественникам лучше сеять озимый ячмень, который обеспечит получение более высокого урожая, а значит и прибыли.

Обработка почвы. Единой системы подготовки почвы к севу озимой пшеницы в Крыму быть не может в силу различий условий почвенно-климатических зон и особенностей предшественников. Однако в любом случае необходимо придерживаться общих растениеводческих правил – не допускать запаздывания с уборкой предшествующей культуры и как можно быстрее освобождать поле от пожнивных остатков. Или, измельчив их, равномерно распределить по полю. Сразу после уборки предшественника поле следует обработать дисковыми лущильниками на глубину 5-7 см, затем внести удобрения и заделать их в почву.

Глубину основной обработки устанавливают в зависимости от погодных условий, плотности и засоренности почвы, продолжительности периода от уборки до посева пшеницы. Мельче почву обрабатывают в засушливых условиях и на чистых от сорняков полях, а также при поздней уборке предшественника. Обязательным приемом является прикатывание вспаханной почвы. Каток не только разбивает образовавшиеся глыбы, но и выравнивает и уплотняет почву. После основной обработки почвы необходимо как можно скорее довести поверхность поля до состояния готовности к севу озимой пшеницы. Особенно ни в коем случае нельзя упускать такую возможность после выпадения осадков. В период от основной обработки почвы до сева озимой пшеницы поле следует содержать в чистом от сорняков состоянии и не допускать образования почвенной корки, для чего следует ее боронить и, при появлении сорняков, культивировать плоскорежущими лапами.

Обработка почвы. Озимая пшеница в Крыму выращивается в различных почвенно-климатических зонах и после разных предшественников. Поэтому единой системы подготовки почвы к ее посеву быть не может. Однако в любом случае необходимо придерживаться общих растениеводческих правил – не допускать запаздывания с уборкой предшествующей культуры и как можно быстрее освобождать поле от пожнивных остатков. Сразу после уборки предшественника поле следует задисковать, внести удобрения и обработать на нужную глубину.

Глубину основной обработки устанавливают в зависимости от погодных условий, плотности и засоренности почвы, продолжительности периода от уборки до посева пшеницы. Мельче почву обрабатывают в засушливых и на чистых от сорняков полях, а также при поздней уборке предшественника. Обязательным приемом является прикатывание вспаханной почвы. Каток не только разбивает образовавшиеся глыбы, но и выравнивает и уплотняет почву. После основной обработки почвы необходимо как можно скорее доводить поверхность поля до состояния готовности к посеву озимой пшеницы.

Особенно ни в коем случае нельзя упускать такую возможность после выпадения осадков. В период от основной обработки почвы до посева озимой пше-

ницы поле следует содержать в чистом от сорняков состоянии и не допускать образования почвенной корки, для чего следует ее боронить и, при появлении сорняков, культивировать плоскорежущими лапами.

Обработка чистых паров. Классическая технология подготовки почвы к посеву озимых по типу черного пара заключается в проведении следующих агрономических мероприятий. После уборки предшествующей культуры проводят лущение стерни на 6...8 см. При появлении на поле сорняков, лущение повторяют или проводят культивацию. Пашут поле в октябре или после выпадения осадков на глубину 20...22 см. В засушливых условиях Тарханкутского и Керченского полуостровов глубину вспашки целесообразно уменьшить до 16...18 см. На эродированных полях пашут на глубину окультуренного слоя.

Весенне-летний уход за паровым полем начинается с боронования при наступлении физической спелости почвы и появлении проростков сорняков. В дальнейшем, при появлении их всходов, поле культивируют на 10...12 см, а после дождей, при образовании почвенной корки, проводят боронование. Глубину последующих культиваций, которые проводят плоскорежущими лапами, постепенно уменьшают до глубины заделки семян – 6 см. При уходе за парами следует избегать частых и глубоких обработок, больше применять боронование, которое следует применять в фазу прорастания и всходов сорняков.

Обработка занятых паров. Обработка поля должна начинаться сразу после уборки парозанимающей культуры. Если под озимую пшеницу планируется внесение навоза, то проводится вспашка на 20...22 см. На полях чистых от многолетних сорняков, как правило, должна проводиться поверхностная обработка дисковыми боронами, культиваторами-плоскорезами или комбинированными агрегатами на глубину 8...10 см. В период парования поля, по мере появления сорняков, проводятся культивации – сначала на 8...10 см, затем на 6...8 см. После дождей проводят боронование для уничтожения проростков сорняков и почвенной корки. Поле после многолетних трав (эспарцет, донник, люцерна) обычно начинают обрабатывать после первого укоса зеленой массы. Первая обработка – дисковыми боронами на глубину 10...12 см. Через 2...3 дня, после того как почва снизу немного увлажнится, а пожнивные остатки на поверхности поля подсохнут, пускают плоскорезы в агрегате с боронами БИГ-3А. Глубина обработки 10...12 см. Обработка почвы после непаровых предшественников. Часть посевов озимой пшеницы некоторое время еще будет размещаться по кукурузе на силос, овощным культурам и другим непаровым предшественникам. Первой задачей на этих полях является тщательное измельчение пожнивных остатков. Поле в день уборки обрабатывают лущильниками с хорошо отточенными дисками. Опаздывать с этим приемом нельзя, так как пожнивные остатки предшествующей культуры высохнут и будут плохо измельчаться.

Через несколько дней поле обрабатывают дисковой бороной под углом 40...450 к направлению рядков. При необходимости дискование проводят в два следа. Затем по мере необходимости поле культивируют в агрегате с катком и бороной БИГ-3А. Применять плоскорезы после уборки пропашных культур неце-

лесообразно, так как не обеспечивается равномерная глубина рыхления почвы и на ее поверхности образуются глыбы.

Предпосевная обработка почвы должна производиться перед севом пшеницы. Длительный разрыв во времени между этими операциями – более чем два дня, недопустим, так как дает преимущество сорнякам, которые, в силу своей биологии, раньше культурных растений всходят, захватывают в агрофитоценозе доминирующее положение. Кроме уничтожения сорняков предпосевная культивация должна создать на поверхности поля рыхлый слой почвы и под ним уплотненное ложе, на которое нужно положить семена при севе. Проводится культиватором на глубину заделки семян.

Адаптивное применение удобрений под озимую пшеницу. В комплексе с другими агроприемами, способствующими получению высоких, устойчивых и качественных урожаев озимой пшеницы большую роль играют удобрения. Их значимость среди других агроприемов, в связи со снижением естественного плодородия почв и интенсификацией зернового хозяйства, повышается. Нужно отметить, что озимая пшеница характеризуется особенно повышенной отзывчивостью на улучшение условий питания, что объясняется целым рядом причин.

Во-первых, для формирования урожаев 35...40 ц/га (это обычный уровень урожайности современных сортов) требуется большое количество питательных веществ – около 130 кг/га азота, 50 фосфора и 100 кг калия.

Во-вторых, у пшеницы относительно короткий период энергичного потребления питательных веществ из почвы, поэтому очень важно наличие в нужном количестве необходимых элементов питания именно в этот период.

В-третьих, у сильных сортов озимой пшеницы одним из основных показателей качества зерна является его белковость, а содержание белка в зерне, как правило, в значительной мере определяется уровнем азотного питания, который должен быть выше, чем при выращивании обычных сортов пшеницы. Без удобрений получать достаточно высокие урожаи зерна с хорошим его качеством в настоящее время – просто невозможно. Поэтому даже в условиях острого экономического кризиса при выращивании озимой пшеницы в Крыму нельзя отказываться от применения удобрений, так как через 2...3 года ее урожайность снизится до 15...16 ц/га, а содержание клейковины в зерне до 18...20%, что поставит под сомнение целесообразность ее выращивания в этом регионе, так как такое зерно будет не конкурентоспособным.

Из органических удобрений наиболее распространенным в Крыму является навоз. В условиях резкого повышения цен на минеральные удобрения его роль заметно возрастает. При правильной организации его заготовки, хранения и использования можно на 25-30% можно удовлетворить общую потребность хозяйств в удобрениях. При внесении 20 т навоза на гектар под вспашку черного пара урожайность пшеницы увеличивается на 3-4 ц/га, а содержание клейковины на 1,5-2,0%. Учитывая дефицит удобрений рациональнее навоз вносить не под черный пар, а под непаровые предшественники, где эффективность его будет выше. На современном этапе развития агрономической науки при определении доз внесения минеральных удобрений под озимую пшеницу следует руко-

водствоваться данными агрохимической характеристики почвы данного поля, которые имеются в каждом хозяйстве. Эти данные свидетельствуют о том, что содержание калия в почвах Крыма, как правило, высокое (более 30 мг на 100 г почвы) и вносить его с удобрениями нет необходимости.

Значимость фосфорных удобрений в последние годы заметно увеличилась. Нередки стали случаи, когда одностороннее внесение азотных удобрений в почву при низком содержании в ней P_2O_5 не увеличивает урожайности зерна. В тоже время внесение фосфора без соответствующего количества азота, положительно влияя на величину урожая, снижает содержание клейковины в зерне вследствие проявления «ростового разбавления» азота в урожае. Поэтому фосфорные удобрения следует вносить под пшеницу только в комплексе с азотными. Урожайность озимой пшеницы в зависимости от содержания подвижных фосфатов в почве. Для обоснованной и возможно полной оценки обеспеченности посевов озимой пшеницы естественным фосфорным питанием необходимо но недостаточно знать количество подвижных фосфатов в пахотном слое почвы. Наряду с получением информации о содержании P_2O_5 в почве, следует установить силу и характер действия этого показателя плодородия на урожайность зерна. На основе полученных нами данных по итогам статистического моделирования на рисунке 1 представлено графическое выражение искомой зависимости.

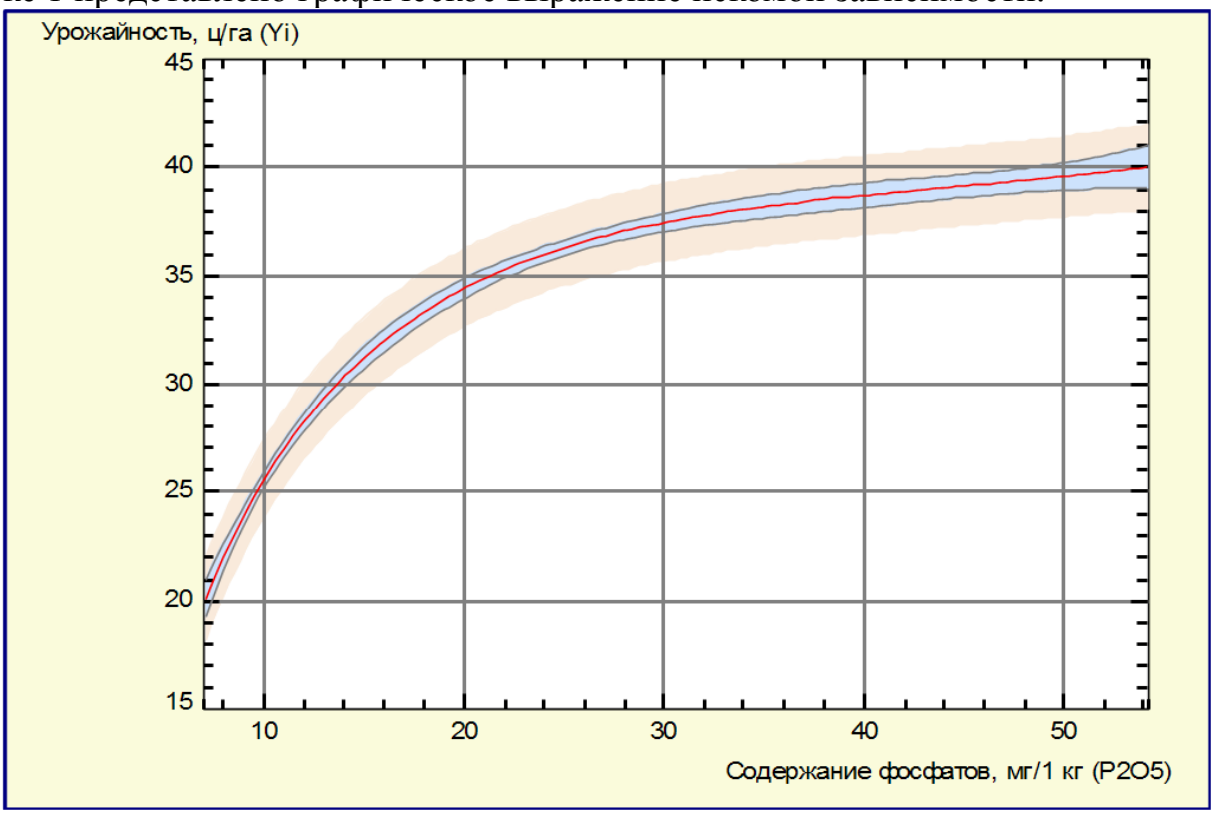

Рис. 1 – Урожайность озимой пшеницы в зависимости от содержания в почве подвижных фосфатов

Зависимость урожайности озимой пшеницы от количества доступных фосфатов в почве представлена кривой замедленного роста. В исследуемом интервале наиболее высокая урожайность зерна отмечена в области максимальных значений содержания доступной P_2O_5 в почве. В соответствии с разрешающей

способностью регрессии, статистически доказуемое снижение урожайности зерна по сравнению с максимумом, отмечается при содержании P_2O_5 подвижных фосфатов ниже 3,7 мг на 100 г почвы. Это значение на 23 % превышает 3,0 мг – принятый в настоящее время уровень достаточной обеспеченности почвы этим элементом питания, однако прибавка урожайности на интервале от 3,0 до 3,7 мг P_2O_5 хотя и доказуема статистически, но её величина составляет всего 2,4 %. Снижение содержания P_2O_5 на интервале от 3,0 до 2,0 мг/100 г ведет к депрессии урожайности в размере 7,2 %, от 2,0 до 1,0 мг/100 г – еще 24 %. При минимальном количестве доступного фосфора – 0,7 мг/100 г почвы урожайность озимой пшеницы составляет всего половину от возможной в этих условиях. Задача его картирования в рамках агроинформационного обеспечения точной технологии выращивания озимой пшеницы в Крыму имеет первостепенное значение.

В основе расчета дифференцированных доз фосфорного удобрения под озимую пшеницу, выращиваемую по точной технологии, наряду с данными о локальной обеспеченности почвы подвижными фосфатами и откликов на нее урожайности, необходимо использовать количественное описание зависимости продуктивности посевов от норм внесения фосфорных туков. На основе регрессионного моделирование влияния доз фосфора на урожайность озимой пшеницы по данным проведённых нами полевых опытов, получено графо-аналитическое отображение этой зависимости, представленной на рисунке 2.

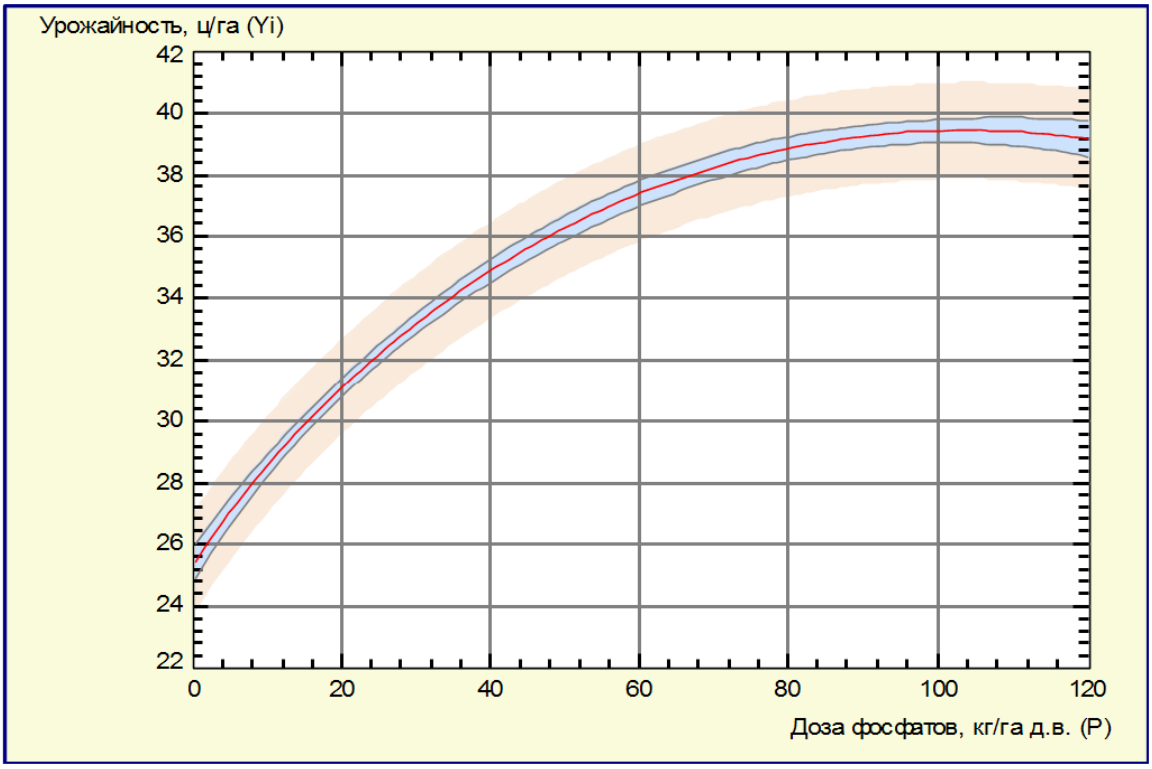

Рис. 2 – Урожайность озимой пшеницы в зависимости от дозы фосфорного удобрения при содержании подвижных фосфатов 1,0 мг на 100 г почвы

Из неё следует, что обсуждаемая зависимость имеет выраженный нелинейный характер и область эксперимента по дозам фосфорных удобрений представлена как лимитирующей, так и стационарной областью. В случае обеспеченности почвы доступными формами фосфорных соединений на уровне 1,0 мг P_2O_5

на 100 г, максимальная урожайность, с учетом разрешающей способности регрессии, достигается при внесении фосфорных туков от 80 кг/га д.в.и более. Как следует из сопряженного с анализируемой диаграммой рисунка 1 применение фосфорных удобрений в этой дозе в полной мере компенсирует дефицит естественной обеспеченности почвы доступными фосфатами. Снижение дозы ниже P_{80} ведёт к прогрессивному падению урожайности зерна. Так, при внесении 60 кг/га д.в. фосфорных туков она в этих условиях снижается на 4,4 %, при внесении P_{40} – на 10,1 %, P_{20} – на 19,8 %. Внесение фосфорных туков в достаточной норме в полной мере компенсирует дефицит подвижных фосфатов в почве. Отклики урожайности на возрастающие дозы фосфорных удобрений подчиняются закономерности замедленного роста, переходящего в стационарную область.

Степень влияния возрастающих доз фосфатов на урожайность пшеницы в зависимости от доступного фосфора в почве видна из рисунка 3.

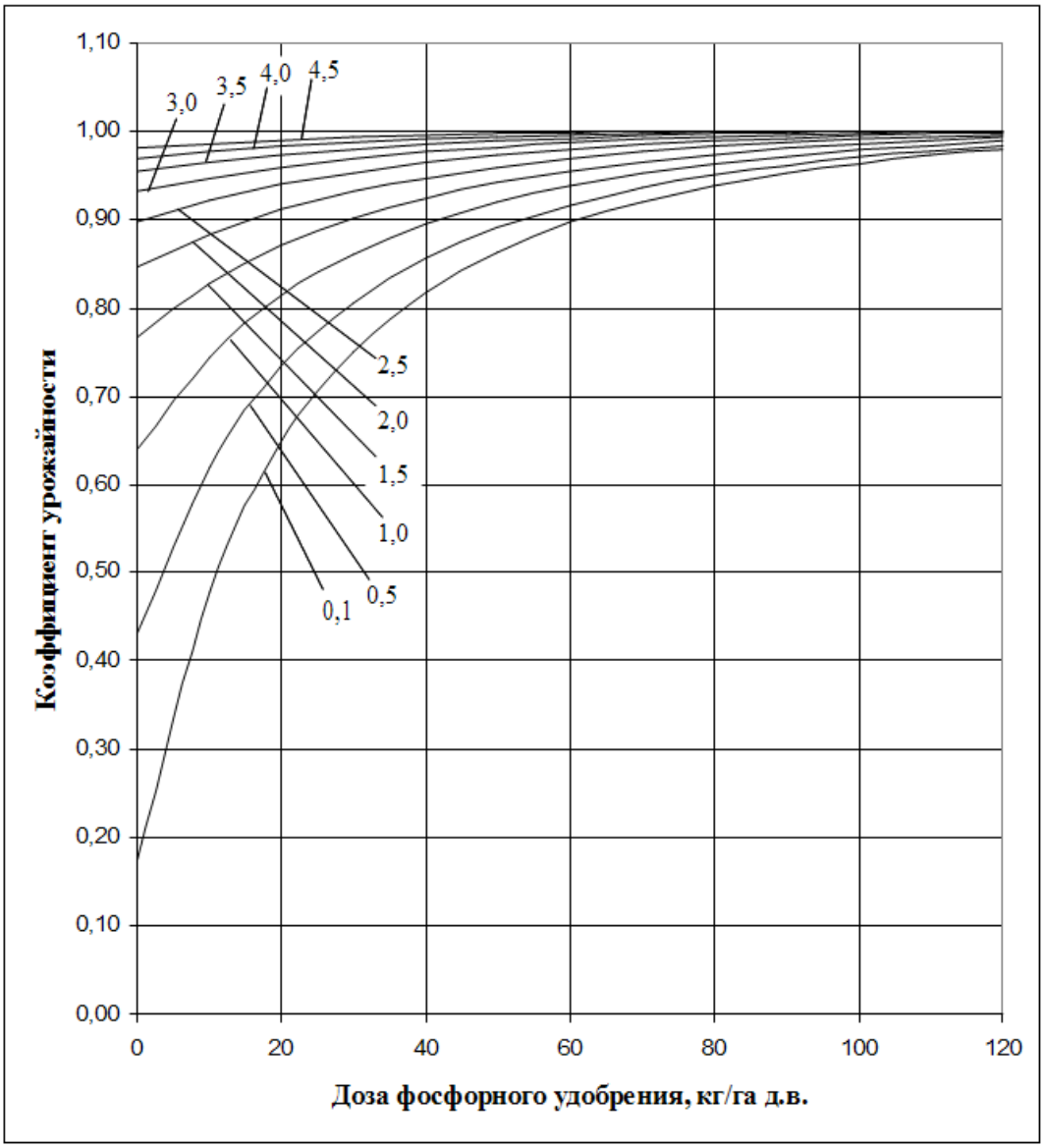

Рис. 3 – Относительная урожайность озимой пшеницы в зависимости от дозы фосфорного удобрения при различной обеспеченности почвы подвижными фосфатами, мг P_2O_5 на 100 г почвы

Техническая эффективность единицы фосфорного удобрения в значительной степени определяется комплексным влиянием как условий естественного фосфорного питания, так и её положением на шкале возрастающих доз внесения фосфатов. При этом, чем выше обеспеченность почвы доступными для растений формами соединений фосфора, тем меньшей прибавкой урожайности сопровождается внесение одной и той же дозы фосфорных туков.

По мере повышения нормы фосфорных удобрений, эффективность её «последней частицы» аналогичным образом снижается. В обоих случаях эти закономерности выражено взаимодействуют, взаимно усиливаясь, и имеют явно нелинейный характер. Такое положение обусловлено одним и тем же физиологическим путём влияния на продуктивность озимой пшеницы как уровней обеспеченности почвы подвижными фосфатами, так и доз внесения фосфорных удобрений. Оба эти показателя составляют единый фактор условий обеспеченности растений озимой пшеницы фосфорным питанием. В целом, оптимизация условий фосфорного питания озимой пшеницы должна учитывать ожидаемый экономический эффект от применения фосфорных туков. При этом, важно знать не только общую прибавку урожайности от внесения всей расчетной нормы фосфора, но и от её «последней частицы», так называемой маргинальной дозы. Именно на основе маргинального анализа можно определить, оправдывает ли стоимость прибавки урожайности зерна от применения «последнего» килограмма действующего вещества фосфорных туков затраты на его приобретение и внесение. В результате появляется возможность найти оптимальную дозу, не содержащую неэффективной, балластной части и обеспечивающую наиболее высокие экономические показатели применения минеральных фосфорных удобрений.

Дополнительно к результатам, вычисленным по этой формуле, следует предусматривать внесение рядковых удобрений в дозе 10 кг P_2O_5 на га.

Следует помнить, что фосфор практически не передвигается в почве, закрепляясь в местах его внесения с удобрениями. Поэтому вносить фосфорные удобрения следует поглубже, как правило, под основную обработку почвы.

Азот является таким элементом питания, который потребляется растением пшеницы в течение всей вегетации. Широкое варьирование величины урожайности, показателей качества зерна, обуславливаемых белковым комплексом (массовая доля белка, клейковины, стекловидность), является следствием неодинаковой обеспеченности растений пшеницы азотом в течение вегетации.

В первую очередь он расходуется в растении на образование вегетативных и генеративных органов, а его действие на повышение качества зерна (содержание в нем белка) начинает сказываться только после того, как полностью будут удовлетворены потребности растения в азоте для образования величины урожая. Поэтому внесение небольших доз азота под озимую пшеницу, повышая ее урожайность, не приводит к улучшению качества зерна. Вот почему оптимальная доза азотных удобрений для выращивания просто высокого урожая качественного зерна не равны между собой. Последняя всегда выше первой.

Во многих рекомендациях предлагается необходимую дозу азота вносить под предпосевную культивацию осенью. В этих же рекомендациях на основе

средних многолетних данных определены дозы внесения азота – на занятых парах 40-60 кг/га, на непаровых предшественниках 60-90 кг/га. К сожалению эти рекомендации не учитывают ни биологических особенностей озимой пшеницы (осенью ее потребности в азоте минимальны, а весной – максимальные), ни фактическую обеспеченность почв минеральным азотом, ни погодных условий вегетации. Совершенно очевидно, что обеспечение пшеницы азотом даже на одном поле по одинаковым предшественникам может существенно меняться в различные по погодным условиям годы. В качестве примера можно привести 35-летние данные о урожайности пшеницы на сортоучастке (то есть при стабильной и высокой агротехнике), которые варьировали по годам от 14 до 77 ц/га. Эти цифры говорят, что в сухой год внесение дозы удобрений (60 кг/га стоимостью около 180 грн.) оказалась бесполезной, а во влажный – недостаточной для получения возможно высокого урожая хорошего качества.

В связи с вышеизложенным, следует прийти к выводу о необходимости адаптирования дозы азота к конкретным условиям реального вегетационного периода и перенесения времени его внесения к периоду максимальных потребностей пшеницы в этом элементе питания. Для возможно большего приближения дозы азотных удобрений к оптимальной для метеорологических условий данного года ее величине следует перенести внесение большей ее части из предпосевного периода в ранневесеннюю подкормку. В этом случае появляется возможность более обоснованно судить о потребностях посева пшеницы в азоте, основываясь на его фитометрических показателях, данных почвенной и растительной диагностики. Отсутствие надежного метеопрогноза на предстоящий период вегетации, можно, в известной мере, компенсировать путем учета такого устойчивого и длительного действующего агроклиматического показателя, как запасы воды в почве ко времени проведения подкормки.

Нужно сказать, что этот метод не отвергает полностью идею внесения азота перед посевом осенью. В отдельные годы (засушливые) и на непаровых поздноубираемых предшественниках доступного растениям азота в почве может не быть, или его количество будет недостаточным для нормального развития пшеницы в осенний период. В этом случае внесение определенной дозы азота под предпосевную культивацию окажет положительное влияние на рост, развитие и перезимовку растений пшеницы.

Что касается паровых предшественников, а именно на них должны размещаться основные площади посева озимой пшеницы в Крыму, то необходимость внесения азотных удобрений перед посевом пшеницы при правильной их обработке, как правило, отсутствует. Накопленного за время парования азота вполне хватает для обеспечения потребностей растений в начальный, то есть осенне-зимний период вегетации, что положительно сказывается на их конечной продуктивности.

Необходимая адаптированная доза внесения азота определяется по принципу «довнесения». Сущность его заключается в создании оптимальных уровней обеспеченности посева минеральным азотом в предпосевной и ранневесенний

периоды. Необходимые дозы внесения азотных удобрений рассчитываются по формуле:

Д=No – N/NO_3 где:

Д – доза азотных удобрений, кг/га д.в.;

No – оптимальный уровень азотного питания, кг/га;

N/NO_3 – фактическое содержание азота нитратов в расчетном слое почвы, кг/га.

Мощность расчетного слоя почвы в предпосевной период 0-40 см, оптимальный уровень азотного питания (нитратный азот почвы + азот удобрений – 70-80 кг/га.

Мощность расчетного слоя почвы весной перед возобновлением вегетации – 0-80 см, оптимальный уровень азотного питания 140-150 кг.

В Крымском агротехнологическом университете создана компьютерная программа, с помощью которой дозы внесения азота адаптируются не только с содержанием нитратов в почве, но и с запасами влаги в почве, густотой стояния и состоянием агрофитоценоза пшеницы на каждом конкретном поле. Практическая проверка этой программы в условиях производства показала ее высокую эффективность.

В засушливых условиях Крыма, особенно в степной его зоне, существует реальная опасность, что внесенный весной азот не будет доступным для растений вследствие отсутствия влаги в верхнем слое почвы. Поэтому на суходоле, учитывая засушливость зоны, удобрения вносят раньше – обычно по мерзлоталой почве, чтобы азот попал в корнеобитаемый слой, пока в ней есть влага, либо несколько позже, когда верхний слой почвы подсохнет – зерновыми сеялками.

Очень важным обстоятельством, свидетельствующим о целесообразности перенесения срока внесения основной нормы азотных удобрений под озимую пшеницу с осеннего (предпосевного) на весенний (в подкормку), являются соображения экономического порядка.

Для приобретения удобрений нужна довольно значительная сумма денег. Эти деньги земледельцам, как правило, приходится одалживать в виде кредитов, ссуд, или займов, которые можно получить под те или иные проценты. Известно, что чем на более продолжительный срок даются кредиты, тем больше величина ссудного процента. Вернуть деньги и рассчитаться за «набежавшие» проценты хлебороб, как правило, может только после уборки урожая пшеницы. Таким образом, если кредит для покупки удобрений взят перед ее посевом, то вернуть его можно будет в лучшем случае через десять – двенадцать месяцев. За эти десять – двенадцать месяцев следует так же заплатить проценты по кредиту, что составит довольно приличную сумму. При внесении основной дозы азота в виде весенней подкормки озимой пшеницы – в марте, продолжительность срока кредита сокращается в два раза. Величина выплат по кредитным процентам в этом случае уменьшится, по крайней мере, тоже в два раза.

Если на покупку удобрений используются собственные средства хлебороба, то положение дел по сути не меняется. Оборотные средства, необходимые для ведения хозяйства, «омертвляются» на такие же сроки.

В связи с тем, что озимая пшеница должна обеспечить формирование зерна, соответствующего требованиям 3 даже 2 класса Государственного стандарта, необходимо позаботиться, чтобы ей хватило для этого азота. Особенностью минерального питания этой культуры является то, что после окончания роста вегетативных органов ей еще нужно около 30% азота из общего его количества, поглощаемого за вегетацию. Если эту потребность в азоте мы не смогли обеспечить за счет ранневе-сенней подкормки, то недостающую часть азота следует дать растениям в виде внекорневой подкормки мочевиной.

Нужно обратить внимание на то, что возможность получения растениями азота обычным путем — через корни на суходоле в этот период вегетации ограничена, так как верхний слой почвы в нашей зоне к этому времени уже пересушен. Поэтому основным путем снабжения пшеницы азотом в это время являются внекорневые подкормки — опрыскивание растений водным раствором азотных удобрений. Лучшим удобрением для этой цели является мочевина.

Концентрация рабочего раствора мочевины определяется возрастом растений пшеницы. До выхода растений в трубку оптимальная концентрация — 10%. Во время колошения ее можно увеличить до 15%, а в фазу налива зерна и молочного его состояния — до 20%. Уменьшение концентрации раствора не снижает эффективности внекорневой подкормки, но уменьшает производительность труда, так как на единицу площади приходится расходовать больше воды. Опрыскивание должно осуществляться ранним утром – при низкой температуре и отсутствии восходящих потоков воздуха

Качество сформированного после подкормки зерна зависит от дозы азотного удобрения, которая, в свою очередь, определяется сроком проведения подкормки, размером вегетативной массы пшеницы, концентрацией азота в ней. Обычно при внекорневой подкормке вносят 30 кг/га д. в., растворенных в 150 — 200 литрах воды. Однако эта доза в зависимости от обстоятельств может изменяться.

При раннем опрыскивании (выход в трубку) она должна быть больше — 45 кг/га, чтобы внесенного азота хватило на увеличение урожая зерна и на повышение содержания в нем белка. При поздних подкормках (молочное состояние зерна) меньше — 20 — 30 кг/га.

Вопрос о целесообразности проведения внекорневой подкормки в современных экономических условиях должен решаться не столько с точки зрения агротехнической, сколько с точки зрения экономической. Проведение этой работы требует определенных затрат — около 75 — 80 гривен на гектар в ценах 2006 года. Урожайность пшеницы при этом не увеличивается, происходит лишь повышение качества зерна, которое и должно компенсировать затраты на эту работу. Поэтому внекорневую подкормку следует проводить только тогда, когда есть уверенность, что в результате ее пшеница повысит качество своего зерна хотя бы на один товарный класс. Разница в цене различных товарных классов, как правило, составляет 40 — 50 гривен за тонну, и в этом случае дополнительные затраты, связанные с проведением внекорневой подкормки, не только полностью окупятся, но и принесут прибыль. Так, например, при урожайности озимой пшеницы 25

— 30 ц/га за зерно четвертого класса с каждого гектара будет получено максимум 400 - 1000 гривен, тогда как после внекорневой подкормки, при получении зерна третьего класса — минимум 500 - 1200 гривен. Внекорневую подкормку целесообразно проводить на посевах с урожайностью не менее 30/ц/га.

Многочисленные данные, имеющиеся в литературе, свидетельствуют о том, что в результате внекорневой подкормки содержание белка в зерне повышается на 1 — 2%, клейковины — па 2 — 4%. Эти показатели являются основными критериями при отнесении зерна к тому или иному товарному классу, а значит, и определяют ее цену.

Показателем, по которому можно прогнозировать будущее содержание белка и клейковины в зерне в период проведения внекорневой подкормки (фаза налива зерна), является содержание азота в верхних листьях пшеницы, которое определяется по методу Кьельдаля. При этом следует придерживаться следующих рекомендаций: если содержание азота в листьях меньше 1,0 или больше 3% на абсолютно сухое вещество, то подкармливать посевы пшеницы нецелесообразно. В первом случае даже при помощи внесенного при подкормке азота не удается достигнуть уровня требований, предъявляемых к зерну третьего класса, и получить соответствующую оплату. Во втором случае запаса азота, имеющегося в вегетативных органах, вполне достаточно для формирования зерна с высоким содержанием клейковины и без внекорневой подкормки.

Необходимость внекорневой подкормки можно определить экспресс-методом при помощи прибора ОП-2 (Церлипг). По шестибалльной шкале выделяются посевы с высокой и недостаточной обеспеченностью азотом. При оценке 4 и 5 баллов — внекорневую подкормку проводить целесообразно. После подкормки содержание клейковины в зерне таких посевов достигает уровня 25 и более процентов. В то же время оценка 1, 2 и 3 балла свидетельствует о нецелесообразности ее проведения, так как при этом не удается повысить содержание клейковины в зерне до уровня требований третьего класса. Если у посева пшеницы оценка 6 баллов, внекорневую подкормку проводить нецелесообразно, так как в этом случае есть высокая вероятность формирования высококачественного зерна за счет азота, находящегося в вегетативных органах.

Для опрыскивания обычно используют самолеты, которые оборудуются опрыскивателями с распылителями 5х5 или 2х5 мм. Максимальная ширина рабочего захвата 30 м. Высота полета 5 — 7м. Обрабатывать посевы следует рано утром или вечером. В пасмурную погоду посевы можно обрабатывать весь день, хотя при этом есть опасность, что даже небольшой дождь может смыть удобрения с растений. Все эти факторы снижают эффективность применения авиации для осуществления внекорневых подкормок.

В начале 90-х годов, наряду с самолетами АН-2, АН-2М, для проведения внекорневой подкормки стали применять вертолеты и дельтапланы, которые обеспечивают более высокое качество работ, так как могут проводить работу на высотах, в большей мере приближающихся к оптимальной, то есть 5 м.

Более надежные результаты получаются при использовании наземных опрыскивателей. Для этого при посеве пшеницы нужно оставлять незасеянными

две дорожки — технологическую колею на ширину колес трактора. Существующая в настоящее время техника позволяет добиться при производстве этой операции высокой производительности труда.

Следует отметить, что внекорневую подкормку можно совместить с обработкой посевов против клопа-черепашки, которую проводят в те же сроки. В этом случае затраты на ее проведение будут минимальными. Раствор для опрыскивания посевов готовят следующим образом: к гектарной норме пестицида добавляют гектарную норму мочевины. Технологию проведения этого совмещенного агроприема обычная, как и при внекорневой подкормке. Оптимальным сроком проведения этого агроприема является фаза колошения-цветения. Следует еще раз подчеркнуть, что проведение этого мероприятия сопряжено с дополнительными затратами труда и средств, что ведет к увеличению себестоимости продукции. Проведение его оправдано лишь в том случае, если качество зерна повышается хотя бы на один класс и есть уверенность, что произведенные затраты окупятся его новой ценой. Необходимо помнить, что урожайность озимой пшеницы после внекорневой подкормки практически не повышается.

В Крымском агротехнологическом университете разработана компьютерная программа, при помощи которой можно с учетом фактического состояния посевов пшеницы определить целесообразность проведения этой операции.

В отдельные годы, когда в фазу молочного и тестообразного состояния зерна стоит прохладная и влажная погода, в технологию выращивания озимой пшеницы следует включить еще один прием — сеникацию, способствующую более полной реутилизации запасных азотистых веществ из вегетативных органов в зерно, то есть повышению его качества. Этот прием эффективен только при выращивании пшеницы на высоких азотных фонах, на которых растения могут создать запас белков в вегетативных органах. Она эффективна только при наличии азота в листьях в количестве не менее 2,6%. С увеличением содержания азота в листьях эффективность ее повышается.

В условиях Крыма наиболее заметное влияние на качество зерна оказывает сеникация посевов озимой пшеницы сульфатом аммония.

Основным критерием для установления оптимальной дозы сульфата аммония при сеникации являются метеорологические условия в период прохождения растениями пшеницы фазы тестообразного состояния зерна. При среднесуточной температуре воздуха выше +19 0С и его относительной влажности ниже 65% для получения эффекта достаточно 25 кг/га удобрения, в годы с более прохладной и более влажной погодой в это время – 50 кг/га, растворенных в 200 – 300 литрах воды. Сеницирующее действие сульфата аммония при добавлении к нему 25 г/га д.в. гербицида аминной соли 2,4Д, который увеличивает проницаемость протоплазмы клеток, заметно возрастало.

Оптимальным сроком проведения сеникации является фаза тестообразного состояния зерна. Опрыскивание посевов озимой пшеницы следует проводить в дневные часы.

Критерии определения целесообразности сеникации следующие: содержание азота в листьях должно быть не менее 2,6%. При среднесуточной температу-

ре в этот период ниже 18 0С и влажности воздуха выше 70% проведение сеникации обязательно. При температуре 18 – 20 0С и влажности воздуха 65 – 70% - проведение сеникации желательно. При температуре свыше 20 0С и влажности воздуха ниже 65% сеникация нецелесообразна, так как перемещение азота из вегетативных органов пшеницы в зерно пройдет достаточно полно под воздействием естественных условий.

Проводится сеникация, как и внекорневая подкормка, с помощью авиации, а на полях с технологической колеей – наземными опрыскивателями.

Срок сева. Значимость отдельных агроприемов в процессе формирования озимопшеничного агрофитоценоза не одинакова. По мнению ряда авторов, наиболее важным из них, оказывающим воздействие на формирование густоты стояния растений пшеницы, является срок сева, на долю которого приходится более половины (около 51%) от общей суммы влияния приемов осеннего звена агротехники.

Продуктивность пшеницы, посеянной раньше оптимального срока, уменьшается из-за поражений болезнями, вредителями, сильного засорения посева. Растения поздних сроков сева не всегда успевают осенью достигнуть готовности к формированию генеративных органов. Весной они продолжают расти, а генеративная стадия проходит при неоптимальных условиях ℵ высокой температуре, худшей обеспеченности водой и длинном световом дне. Все это приводит к закладке и формированию менее продуктивных генеративных органов. Длительная задержка в развитии таких растений в начале весны приводит к быстрому прохождению этапов развития и у пшеницы часто образуются дегенеративные колоски. Побеги, образующиеся весной, обладают меньшей устойчивостью к неблагоприятным условиям. При ухудшении условий произрастания в летний период (например, дефицит влаги, высокая температура и т.д.) их гибнет 50...60%, тогда, как гибель побегов осеннего кущения составляет всего 25...30%.

В основе теоретических представлений при выборе оптимального срока сева лежит вывод А.И. Носатовского, который считается классическим, о том, что наибольшая зимостойкость у озимой пшеницы формируется в фазу кущения при наличии у растений 2...4 побегов, При благоприятных условиях произрастания в осенний период для достижения этой фазы пшенице требуется 45...55 дней с суммой положительных температур выше +5 0С ℵ 500...550 0С. Общепринятым считается и тот факт, что продолжительность оптимальных сроков ее посева составляет 10 дней.

В Крыму вопрос выбора срока сева озимой пшеницы решается очень трудно и сложно. С одной стороны, жаркая и сухая осень создает условия, в которых сеять пшеницу в обычные календарные сроки не только не целесообразно, но и просто нельзя, так как вследствие недостаточного количества влаги в почве семена не прорастут, но подвергнутся активному воздействию почвенных микроорганизмов и вредителей, вследствие чего потеряют свою всхожесть. С другой стороны продолжительная и теплая осень может привести к перерастанию растений пшеницы и сильному повреждению вредителями и болезнями. Наконец, наличие зимой продолжительных (до двух недель) оттепелей, в течение которых пшеница

активно вегетирует, позволяет удлинить сроки сева не только без ущерба для ее урожайности, но нередко и для ее пользы.

Многолетними опытами, которые в Крыму ведутся с 1922 года установлено, что оптимальные сроки сева озимой мягкой пшеницы в Крыму, продолжительность которых не должна быть более 10 дней, наступает в среднем в первой декаде октября:

Влияние сроков сева на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в Крыму (в среднем за 1978-2000 гг.)

Сроки сева	Занятый пар	
	урожайность, т/га	содержание белка, %
2 декада августа	20,0	12,9
1 декада сентября	23,8	12,3
2 декада сентября	27,6	12,5
3 декада сентября	3,51	13,7
1 декада октября	4,24	13,9
2 декада октября	4,20	13,9
3 декада октября	3,64	14,1
1 декада ноября	3,12	14,1

Однако в засушливых условиях Крыма погодные условия вносят свои коррективы. Дело в том, что установленные средние календарные сроки сева действительно оптимальные только в том случае, когда в пахотном слое почвы в это время имеется не менее 20 мм доступной влаги.

За 25 лет исследований такое совпадение было всего лишь в 30% случаев. Поэтому в сухие годы, когда доступные запасы влаги в пахотном слое менее 20 мм, сев следует отложить до того времени, когда температура почвы снизится до 12-150С, то есть до 15-20 октября. Сохранность семян в это время повышается даже в сухой почве, заметно ослабевает активность микроорганизмов и почвенных вредителей. При последующем выпадении дождей при этом сроке сева получаются хорошие по густоте всходы. Нельзя сеять пшеницу в теплую почву при наличии в ней так называемых «провокационных» запасах влаги (10-15 мм), поскольку зародыш семян может погибнуть из-за ее недостачи или активной деятельности микроорганизмов.

Наиболее частой ошибкой, приводящей к изреживанию или даже полной гибели пшеницы, является сев ранее оптимальных сроков. Стараясь использовать для получения всходов незначительные осадки, выпавшие в конце августа – начале сентября, хозяйства начинают сев. Взошедшие растения пшеницы или гибнут вследствие отсутствия дождей в сентябре, или в сильной степени повреждаются вредителями, которые в это время особенно активны.

Определять оптимальный срок сева пшеницы в конкретных погодных условиях осени следует с учетом целого ряда факторов – наличия влаги, температуры почвы, воздуха и др. В Крымском агроуниверситете создана комплексная

компьютерная программа, с помощью которой можно практически безошибочно проделать эту работу.

Подготовка семян к севу заключается в заблаговременной (за 2-3 месяца до сева) очистке их от примесей и обработке за 1-5 дней до сева химическими протравителями с увлажнением/

Норма высева. Основные требования к норме высева – обеспечить формирование высокопродуктивного агроценоза, то есть оптимального количества растений и продуктивных стеблей на единице площади.

В Крыму получение максимально возможных в сложившихся погодных условиях вегетации урожаев мягкой озимой пшеницы обеспечивает стеблестой 360-400 растений на 1 $м^2$.

Для получения такого количества растений на единице площади при севе в адаптивно-оптимальные сроки следует высевать 6 млн. всхожих зерен на гектар. При отклонении от срока сева в ту или иную сторону нормы высева семян должны быть увеличены в сторону поздних на 1,5-2% на каждый день отклонения, в сторону ранних соответственно на 2-3%.

Глубина заделки семян. Оптимальная глубина заделки семян озимой пшеницы в Крыму - 5 – 6 см. Однако при посеве в сухую почву на каштановых суглинках, южных и карбонатных черноземах глубина посева должна быть увеличена до 7 см. – семена следует помещать во влажный слой. Мелкая заделка семян в сухую почву опасна тем, что небольшие осадки в 5 – 10 мм могут увлажнить этот слой и вызвать прорастание семян, а затем их гибель из-за недостатка влаги. Поэтому сеять озимую пшеницу в Крыму на глубину менее 5 см даже в сухую осень очень рискованно. Мелкая заделка семян уменьшает морозостойкость и зимостойкость растений. Каждый сантиметр углубления верхнего слоя почвы повышает температуру примерно на 3 ^{0}С. Поэтому, чем глубже будет заложен узел кущения, тем меньше вероятность его гибели от вымерзания, выпирания и иссечения. На почвах солонцеватых, склонных к заплыванию и уплотнению, с тяжелым механическим составом, семена пшеницы следует заделывать на глубину 5 см. При посеве пшеницы на орошаемых землях и позже оптимальных сроков глубина заделки семян должна быть не более 4 – 5 см, что обеспечивает своевременное получение дружных, ровных всходов.

Уход за посевами в осенний период. Приемы ухода должны быть направлены на создание условий, обеспечивающих лучшую сохранность растений в осенне-зимний период, и заключаются в проведении агромероприятий по борьбе с вредителями, болезнями и мышевидными грызунами.

В годы с теплой и продолжительной осенью существенный вред посевам, особенно ранним, наносят вредители — хлебная жужелица и злаковые мухи (гессенская, шведская, озимая и пшеничная). При увеличении численности хлебной жужелицы выше экономического порога вредоносности (3 — 5 личинок на 1 $м^2$ посева) посевы обрабатывают инсектицидным препаратом. При распространении злаковых мух в количестве выше порога вредоносности (30 экз. на 100 взмахов сачка) осенью посевы опрыскивают системным инсектицидом. В осенне-зимний период большой вред посевам пшеницы наносят мыши. При наличии 20-

50 и более нор на гектаре (или 8 — 10 колоний на 1 га) необходимо провести с ними борьбу. Для этого применяют аммиачную воду (с 18 — 20% содержания аммиака), которую заливают в жилые норки (200 — 300 г на норку) с последующим их затаптыванием. Раскладывают отравленные приманки на пищевой зерновой основе с добавлением антикоагулянтов крови. Эффективно применение микробиологического препарата штамм 5170, которым заражают поселения мышей, раскладки восковых брикетов шторма по одному в каждую норку и на расстоянии 10-15 метров один от другого. Успех борьбы с грызунами достигается своевременностью ее проведения — до расселения грызунов из мест резервации на поля озимой пшеницы. Борьба с сорняками в осенний период проводится лишь в исключительных случаях на посевах с хорошо раскустившейся пшеницей. Поля, засоренные зимующими сорняками — дескурением Софии, пастушьей сумкой, яруткой полевой, живокостью полевой, гулявником высоким и др. (при 14 — 16 и более растений на 1 м2), следует обрабатывать разрешенными к применению на пшенице гербицидами.

Уход за посевами озимой пшеницы после перезимовки начинается с ранневе-сенней подкормки азотными удобрениями. Проводят ее по мерзло-талой почве, чтобы внесённый на ее поверхность азот стал доступен растениям, используя сформированную во время сева пшеницы технологическую колею. После возобновления вегетации пшеницы весной хорошие результаты дает применение для подкормки посевов зерновых сеялок, с помощью которых азотные туки размещаются в прикорневом слое и равномерно распределяются по полю. Адаптивная доза внесения удобрений рассчитывается по приведённой выше методике с учётом содержания нитратного азота в почве в слое 0...80 см, состояния вышедшего из зимовки посева пшеницы и запасов накопленной за осенне-зимний период влаги.

Борьба с сорняками. В посевах озимой пшеницы, в том числе и на паровых предшественниках, встречается большое количество различных сорных растений, наносящих существенный вред урожаю. Даже при слабой засоренности посевов недобор урожая озимой пшеницы может составить 5 — 7%, а при сильной — 25% и больше. Отрицательное воздействие сорняков проявляется в первую очередь в том, что, используя дефицитную в нашей зоне воду и питательные вещества, они перехватывают их у пшеницы. На засорённых полях эффективность ранневесенней подкормки незначительна или даже отсутствует полностью, так как внесенный азот в первую очередь используют сорняки, которые, в силу своих биологических особенностей, трогаются в рост раньше пшеницы и развиваются быстрее ее. Вредоносность сорняков на этом не оканчивается. Семена таких растений, как полынь, горчак, лук полевой, чеснок, попав в зерновую массу, придают муке неприятный запах, вкус, то есть ухудшают ее качество. Сорняки затрудняют уборку, увеличивают затраты труда и средств на очистку зерна. Засоренность посевов, а значит, и вредоносность сорняков, резко возрастают на полях с изреженными и ранними посевами пшеницы, а также в годы с благоприятными условиями увлажнения. Урожайность ее уменьшается на 8 — 10%, а содержание белка и клейковины снижается соответственно на 3,6 и 7,3%. При на-

личии 150 — 200 растений дескурении Софии на 1 м2 белковость зерна снижается на 0,54%, содержание клейковины — на 1,0%, а стекловидность — на 7%. Наиболее эффективным способом борьбы с сорняками в посевах озимой пшеницы является химический — применение гербицидов.

Посевы озимой пшеницы в весенне-летний период вегетации в не меньшей степени, чем в осенний, повреждаются вредителями и поражаются болезнями:

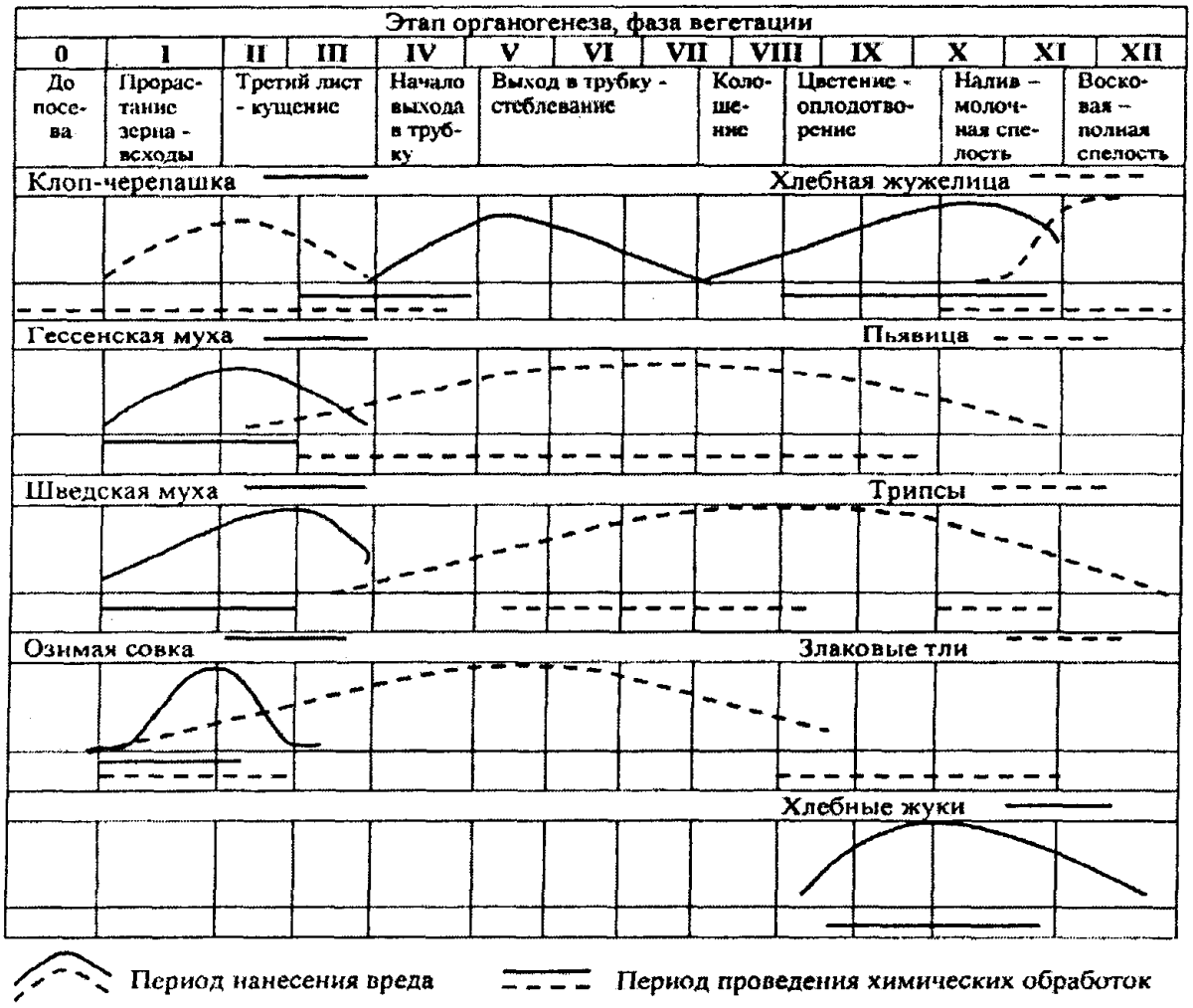

Рис. 9.6. Периоды повреждения растений вредителями и время обработки посевов инсектицидами.

Примечание: Пороги экономической вредоносности: вредный клоп-черепашка — 1-2 особи на 1м^2; трипс пшеничный — в фазу колошения 10 имаго на 1 колос, в фазу налива зерна — 30-40 личинок на колос; злаковые тли — 5-10 особей на стебель при 50% их заселении; хлебные жуки — 3-5 штук на 1 м^2; хлебная жужелица — 3-5 личинок на 1 м^2 посева; озимая совка — 2-3 гусеницы на 1 м^2.

Из вредителей в это время наиболее распространены и вредоносны клоп вредная черепашка, хлебный жук-кузька, хлебная пьявица, злаковые тли, пшеничный трипс. Наибольший вред они приносят в период массового распространения. По времени это совпадает с определёнными фазами развития растений пшеницы. Необходимо постоянно следить за развитием численности вредителей

колосовых и при достижении порога экономической вредоносности приступать к обработке посевов.

Во влажные годы большой вред посевам пшеницы в Крыму наносит мучнистая роса. Из-за поражения мучнистой росой растения до 15% снижают массу зерен, уменьшается их количество в колосе (до 15%) и сокращается на 2% фотосинтезирующая поверхность листьев. Все это ведет к заметному недобору урожая (до 5 — 8 ц/га) и снижению его качества. Для предупреждения этого явления в период выход в трубку-колошение пшеницу опрыскивают фунгицидами профилактического и лечебного действия.

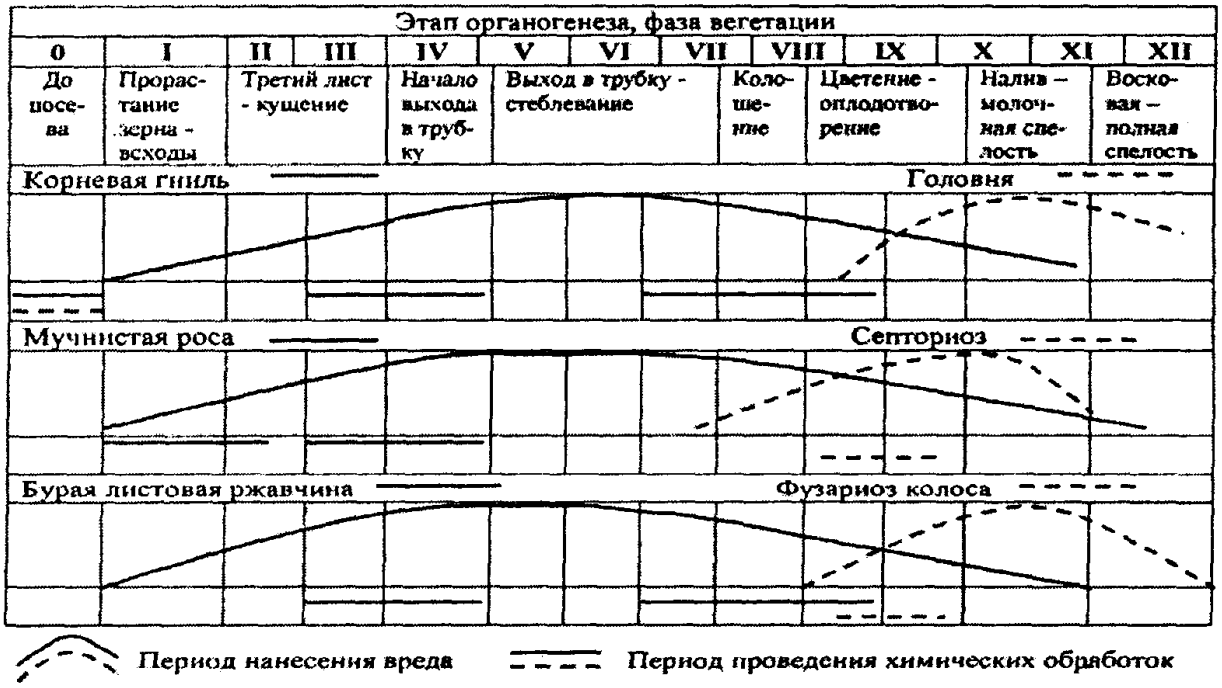

Рис. 9.7. Периоды поражения растений пшеницы болезнями и время обработки посевов фунгицидами.

Уборка урожая озимой пшеницы. Мягкую озимую пшеницу следует убирать прямым комбайнированием. Этот способ в условиях рыночной экономики с высокими ценами на энергоносители в 1,5 раза дешевле раздельной (двухфазной уборки. Товарные посевы пшеницы следует убирать в фазу полной спелости – при влажности зерна 16% и менее. Перед началом уборки товарных посевов обязательно нужно предварительно сделать обкос полей от лесополос и по их периметрам шириной до 20 м. Полученное зерно, которое зачастую бывает поражено клопом-черепашкой, обезличивают. Семенные посевы с целью снижения травмированности семян, следует начинать убирать раньше – в фазу начала полной спелости зерна. Уборку вести групповым способом, сосредотачивая на одном поле всю имеющуюся в хозяйстве уборочную технику.

Основная учебная литература:

1. Адаптивное растениеводство : учебное пособие / В.Н. Наумкин, А.С. Ступин, Н.А. Лопачев [и др.]. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 356 с. — Режим доступа. — URL: https://e.lanbook.com/book/102232 . — ISBN 978-5-8114-2868-

7. — Текст : электронный.
2. Жуковский, О.И. Геоинформационные системы / О.И. Жуковский. – Томск : Эль Контент, 2014. – 130 с. : схем., ил. – Режим доступа – URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480499 . – Библиогр.: с. 125-126. – ISBN 978-5-4332-0194-1. – Текст : электронный.
3. Труфляк, Е.В. Точное земледелие : учебное пособие / Е.В. Труфляк, Е.И. Трубилин. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 376 с. — Режим доступа. — URL: https://e.lanbook.com/book/122186 . — ISBN 978-5-8114-4580-6. — Текст : электронный.

Дополнительная учебная литература:

1. Агрохимическое обследование и мониторинг почвенного плодородия / В.В. Агеев, Л.С. Горбатко, А.И. Подколзин, О.Ю. Лобанкова. – Ставрополь : Ставропольский государственный аграрный университет, 2012. – 352 с. – Режим доступа: – URL: http://biblioclub.ru/
2. Геоинформатика [Текст] : учебник для студентов вузов / МГУ им. М. В. Ломоносова ; ред. В. С. Тикунов. - М. : Академия, 2005. - 477, 2 с. : ил., цв.ил., карты. - ISBN 5-7695-1924-X
3. Защита растений / Л.Г. Коготько, Е.В. Стрелкова, П.А. Саскевич, Ю.А. Миренков. – Минск : РИПО, 2016. – 340 с. : ил. – Режим доступа – URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=463346 . – Библиогр.: с. 317-320. – ISBN 978-985-503-583-2. – Текст : электронный.
4. Кирюшин, В.И. Агротехнологии : учебник / В.И. Кирюшин, С.В. Кирюшин. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 464 с. — Режим доступа: — URL: https://e.lanbook.com/book/64331 — ISBN 978-5-8114-1889-3. — Текст : электронный.
5. Кирюшин, В.И. Классификация почв и агроэкологическая типология земель : учебное пособие / В.И. Кирюшин. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 288 с. — Режим доступа. — URL: https://e.lanbook.com/book/71751 . — ISBN 978-5-8114-1097-2. — Текст : электронный.
6. Наумкин, В.Н. Региональное растениеводство : учебное пособие / В.Н. Наумкин, А.С. Ступин, А.Н. Крюков. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 440 с. — Режим доступа. — URL: https://e.lanbook.com/book/90064 . — ISBN 978-5-8114-2300-2. — Текст : электронный.
7. Основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур / В.В. Агеев, А.Н. Есаулко, О.Ю. Лобанкова и др. – 5-е изд., перераб. и доп. – Ставрополь : Агрус, 2014. – 200 с. : ил. – Режим доступа. – URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=277409 . – ISBN 978-5-9596-0771-5. – Текст : электронный.

Контрольные вопросы:

1. Охарактеризуйте особенности водного режима в разрезе основных предшественников озимой пшеницы.

2. Охарактеризуйте особенности пищевого режима посевов озимой пшеницы по основным предшественникам.
3. Изложите особенности обработки почвы под озимую пшеницу после паровых предшественников.
4. Изложите особенности обработки почвы под озимую пшеницу после основных непаровых предшественников.
5. Опишите и охарактеризуйте адаптивный метод расчёта дифференцированных доз фосфора под озимую пшеницу.
6. Дайте сравнительную характеристику методам расчёта дифференцированных доз основного внесения азотных удобрений под озимую пшеницу.
7. Опишите и охарактеризуйте метод расчёта адаптивных норм ранневесенней азотной подкормки озимой пшеницы.
8. Опишите технологию и укажите условия эффективного применения поздней внекорневой азотной подкормки пшеницы.
9. Назовите цель, опишите технологию и укажите условия эффективного применения сеникации посевов озимой пшеницы.
10. Опишите основные принципы адаптации срока сева и нормы высева семян озимой пшеницы к неблагоприятным гидротермическим условиям осеннего периода.