**РЕКОМЕНДАЦИИ**

**по интегрированному применению минеральных удобрений в системах земледелия с учетом региональных особенностей производства сельскохозяйственной продукции в**

**Российской Федерации**

**Москва-2019**

Рекомендации по интегрированному применению минеральных удобрений в системах земледелия с учетом региональных особенностей производства сельскохозяйственной продукции в Российской Федерации разработаны специалистами Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии им.Д.Н.Прянишникова по договору с АО «Объединенная химическая компания «УРАЛХИМ».

Рекомендации предназначены для специалистов информационно-консультационных центров, центров сельскохозяйственного консультирования, дилерских центров компаний агрохимического профиля, специалистов хозяйств и КФХ.

При разработке рекомендаций использованы данные Географической сети опытов с удобрениями и материалы агрохимической службы.

Рекомендации рассмотрены и одобрены Ученым советом ВНИИ агрохимии им.Д.Н.Прянишникова (протокол № 5 от 17 мая 2019 г.).

Рецензенты:

Торшин С.П., зав.кафедрой агрономической и биологической химии РГАУ-МСХА им.К.А.Тимирязева, д.б.н., профессор.

Романенков В.А., зав.кафедрой агрохимии и биохимии МГУ им.М.В.Ломоносова, д.б.н., профессор РАН.

**ВВЕДЕНИЕ**

Программой развития агропромышленного комплекса страны на ближайшие годы предусмотрено существенное наращивание производства сельскохозяйственной продукции в объемах, удовлетворяющих не только внутренние потребности, но и аграрный экспорт. Развитие сельскохозяйственного производства, повышение его продуктивности неразрывно связаны с интенсификацией отрасли, одним из важнейших условий которой является рациональное применение удобрений и других средств химизации. Это основной путь увеличения урожайности и валовых сборов возделываемых культур, создания прочной кормовой базы для животноводства. Главными критериями успешного развития растениеводства сегодня являются высокая продуктивность, устойчивость и рентабельность.

Продуктивность сельскохозяйственных культур обусловливается многими факторами, оказывающими как положительное, так и негативное влияние на их рост и развитие. Поэтому для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур важно контролировать состояние их посевов и с помощью соответствующих агротехнических мероприятий и комплекса доступных средств химизации управлять ростом и развитием сельскохозяйственных культур, воздействуя на почву и растения таким образом, чтобы снизить отрицательные и усилить положительные действия факторов жизни. Разумное сочетание технологических и биологических факторов интенсификации с целью реализации генетического потенциала сортов и гибридов сельскохозяйственных растений в ходе продукционного процесса и формирования урожая возможно только при использовании интегрированных агротехнологий в растениеводстве.

Современный подход к управлению продуктивностью сельскохозяйственных культур имеет комплексный характер и должен формироваться по принципам, которые учитывают особености фотосинтеза, морфогенеза и минерального питания, и обеспечивают управления ими. Первоочередной задачей такого подхода является максимальное нивелирование препятствующих факторов сближения биологического потенциала культуры (сорта) с фактическим. Этому способствует использование интегрированных систем применения удобрений (минеральных и органических), химических мелиорантов, средств защиты растений, регуляторов роста и развития растений, биопрепаратов.

Интегрированная система управления продуктивностью сельскохозяйственных культур и качеством урожая - это комплексное решение с применением целого ряда технологических приемов, объединенных в одну информационно-управляющую систему. Главное преимущество интегрированных систем – взаимосвязанные данные о почвенных ресурсах, климате, состоянии посевов и имеющихся в распоряжении сельхозтоваропроизводителей ресурсов.

 Интегрированные системы применения средств химизации формируются на общих принципах, но для каждой культуры и каждой зоны возделывания требуется детальная проработка схем такой интеграции.

Современные агротехнологии представляют собой комплексы технологических операций по управлению продукционным процессам сельскохозяйственных культур в агроценозах с целью достижения планируемой урожайности и качества продукции при обеспечении экологической безопасности и определенной экономической эффективности.

Агротехнологии связаны в единую систему управления агроландшафтом через севообороты, системы обработки почвы, удобрения и защиты растений.

Основная цель формирования агротехнологий, основанных на интегрированном применении средств химизации, заключается в последовательном преодолении факторов, лимитирующих урожайность сельскохозяйственной культуры и качества продукции.

Традиционно различают четыре категории агротехнологий:

1. **Экстенсивные** технологии, ориентированные на использование естественного плодородия почв без применения удобрений и других химических средств или с очень ограниченным их использованием и применением районированных сортов сельскохозяйственных культур.

2. **Нормальные (типовые)**  технологии, обеспеченные минеральными удобрениями и пестицидами в том минимуме, который позволяет поддержать средний уровень окультуренности почв, устранять дефицит элементов минерального питания, находящихся в критическом минимуме.

3. **Интенсивные** технологии, рассчитанные на получение планируемого урожая высокого качества и обеспечивающие оптимальное минеральное питание растений и защиту от болезней, вредных организмов. Интенсивные технологии предполагают применение интенсивных сортов и создание условий для более полной реализации их биологического потенциала. Интенсивные агротехнологии обеспечивают достижение максимальной окупаемости производственных затрат и гарантируют получение хорошей урожайности и качества продукции основных культур в оптимальных для их возделывания регионах. Это достигается за счет оптимального уровня минерального питания растений, защиты их от наиболее опасных болезней, вредителей и сорняков, а также от полегания.

4. **Высокие** технологии, рассчитанные на достижение урожайности культуры, близкой к её биологическому потенциалу с заданным качеством продукции при минимальных экологических рисках в оптимальных для их возделывания природно-сельскохозяйственных зонах. Они ориентированы на использование техники координатного земледелия, современных средств химизации и информационных технологий. В этих технологиях достигается максимальная интеграция агрохимических мероприятий с учетом их системного взаимодействия. Это достигается за счет максимальной реализации биологического потенциала современных сортов и гибридов, полной компенсации выноса питательных веществ растениями, комплексной защиты посевов от болезней, вредителей, сорняков, регулирования роста и развития растений, а также регулирования микробиологического состояния почвы.

Фактический уровень интенсивности агротехнологий в хозяйстве следует выбирать в зависимости от производственно-ресурсного потенциала товаропроизводителя, так как упрощения агротехнологий и необоснованные сокращения технологических операций сводят на нет все усилия и затраты.

В сельскохозяйственной практике снижение продуктивности сельскохозяйственных культур и рост затрат зачастую объясняется двумя основными составляющими – «не так, как нужно» и «не своевременно».

Сегодня в отечественном земледелии на первый план выходит экономическая целесообразность агротехнологий: ориентир не на рекордные урожаи любой ценой при больших дозах использования средств химизации, а на доход, который будет получен с гектара сельскохозяйственных угодий. Эффективность традиционных и инновационных форм удобрений и других средств химизации определяется как уровнем потенциального почвенного плодородия, так и степенью обеспеченности растений элементами питания в отдельные периоды их роста и развития (т.е. своевременностью выполнения агрохимических мероприятий). Поэтому обязательным элементом совершенствования систем удобрения сельскохозяйственных культур как элемента инновационных и интегрированных агротехнологий является более полный учет состояния плодородия почв.

Типовые рекомендации по применению минеральных удобрений и средств защиты растений рассчитаны на усредненные почвенные и климатические условия, но они должны быть достаточно гибкими и допускать оперативную модификацию с соответствии с конкретными погодными условиями, фитосанитарным состоянием посевов в соответствующий период времени и обязательно учитывать реальное наличие финансовых и материально-технических ресурсов. Только в этом случае современные агротехнологии станут действенным средством роста продуктивности сельскохозяйственного производства и целенаправленного управления плодородие почв сельскохозяйственных угодий. Своевременная корректировка агротехнологий в период вегетации растений, в том числе мероприятий по использованию удобрений, регуляторов роста, средств защиты растений, связанная с динамичностью погодных условий, способствует росту продуктивности сельскохозяйственных культур и качества урожая.

Адаптация агротехнологий к локальным почвенно-климатическим условиям и реально складывающимся погодным условиям в конкретном году позволяет более полно и эффективно использовать природные ресурсы каждого поля в хозяйстве, что содействует устойчивости урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур, обеспечивает высокое качество и безопасность растениеводческой продукции.

Для корректировки технологических приемов возделывания сельскохозяйственных культур с учетом складывающихся агрометеорологических условий рекомендуется проводить:

- комплексное агрохимическое обследование всех сельскохозяйственных угодий;

 - оценку содержания в почве минерального азота (для корректировки доз азотных удобрений), а в отдельных зонах оценку содержания нитратного азота в метровом слое почвы;

 - оценку содержания макро- и микроэлементов в надземной массе растений или индикаторных органах растений (для обоснования специальных подкормок);

 - оценку фитосанитарного состояния посевов для разработки интегрированной системы защиты растений в период вегетации, включающей оценку степени засоренности посевов и оценку степени поражения посевов вредителями и болезнями;

 - измерение плотности почвы пахотного слоя после посева и перед уборкой урожая;

 - оценку запаса продуктивной влаги перед началом посевных работ, в начале вегетационного периода и по основным фазам развития сельскохозяйственных культур.

 Интегрированное применение средств химизации в агротехнологиях включает в себя:

 - комплекс агрохимических мероприятий по поддержанию почвенного плодородия (оптимизация параметров почвенного плодородия путем известкования, гипсования, фосфориттования, внесения минеральных и органических удобрений с учетом типа севооборота)

 - предпосевную обработку посевного и посадочного материала комплексом средств химизации (фунгицидами, регуляторами роста растений, микроэлементами);

 - систему удобрений под планируемый урожай сельскохозяйственной культуры (дозы, сроки, приемы и способы внесения удобрений, учет особенностей форм удобрений);

 - систему защиты растений соответствующей культуры (максимально возможное и целесообразное сочетание агрохимических и защитных мероприятий).

Воспроизводство плодородия почв и повышение урожайности сельскохозяйственных культур должны осуществляться на основе сочетания агротехнических, мелиоративных и агрохимических приемов в следующей последовательности: сначала оптимизируют агротехнику, затем устраняют такие основные лимитирующие факторы, как кислотность и эрозионные процессы - проводят известкование и защиту почв от эрозии и дефляции, далее оптимизируют систему питания и защиты растений и при необходимости используют регуляторы роста и биопрепараты.

При разработке системы удобрений в севообороте или под конкретную культуру предварительно необходимо оценить:

 - климатические ограничения;

 - ограничения, вызванные состоянием почвенного плодородия;

 -ресурсные ограничения (финансы, техника и персонал для выполнения агротехнических работ, возможности по ГСМ, минеральным и органическим удобрениям и др.).

**Система удобрений**

Продуктивность сельскохозяйственных культур обусловливается многими факторами, оказывающими как положительное, так и негативное влияние на их рост и развитие. Поэтому для получения высоких и устойчивых урожаев надлежащего качества важно контролировать состояние посевов и с помощью соответствующих агротехнических мероприятий управлять ростом и развитием сельскохозяйственных культур, воздействуя на почву и растения таким образом, чтобы снизить отрицательные и усилить положительные действия факторов жизни.

 Основной задачей системы удобрения является управление питанием и продукционным процессом сельскохозяйственных культур с целью повышения их урожайности. Под управлением продуктивностью посевами понимают совокупность мероприятий направленных на реализацию потенциальных возможностей сорта (гибрида) путем целенаправленного регулирования пищевого, водного, воздушного, светового и теплового режимов почвы. Управление состоянием посевов сельскохозяйственных культур осуществляется посредством использования минеральных, органических удобрений и химических мелиорантов, биопрепаратов и регуляторов роста растений, пестицидов для борьбы с сорняками, болезнями и вредителями, а также применения соответствующего комплекса машин и механизмов, программных средств.

 Из-за большого разнообразия почвенных и погодных условий ключевые приемы управления посевами также значительно варьируют. Даже в одном и том же хозяйстве для каждого поля и вида сельскохозяйственных культур в разные годы необходимо принимать разные агротехнические решения.

 Знания биологических особенностей возделываемых культур и характера действия основных факторов, обусловливающих формирование урожая в данных почвенно-климатических условиях, анализ и оценка состояния посевов на поле, позволяют определить тактику управления продукционным процессом с помощью агротехнических приемов.

Получение планируемых урожаев сельскохозяйственных культур в значительной мере обусловливается уровнем обеспеченности растений элементами питания. В этой связи первостепенной задачей системы удобрения является оптимизация питания растений при минимальных затратах удобрений. Высокая их эффективность может быть достигнута лишь в том случае, когда внесение элементов питания, лимитирующих рост и развитие растений, полностью компенсирует дефицит питательных веществ в почве и соответствует нуждаемости в них растений.

 Система удобрений - это совокупность взаимосвязанных агрономических и организационных мероприятий, направленных на рациональное применение минеральных, органических удобрений и мелиорантов с целью получения высоких устойчивых урожаев хорошего качества, поддержание или повышение плодородия почвы и снижение опасности загрязнения окружающей среды. Система удобрения является неотъемлемой составной частью бизнес-плана и системы ведения хозяйства.

 Систему удобрения можно рассматривать на уровне крупного агропромышленного объединения, хозяйства, севооборота, поля, а также отдельного земельного участка, занятого лугом и пастбищем, многолетними плодовыми или ягодными насаждениями. В узком плане объектом системы удобрения могут быть отдельные культуры.

 Система удобрения хозяйства предусматривает оптимальное решение следующих вопросов:

- определение необходимого количества отдельных видов удобрений на планируемый урожай по объектам землепользования и в целом по хозяйству на ближайшую перспективу (3-6 лет);

- приобретение и хранение минеральных удобрений,

- накопление органических удобрений;

- техническое обеспечения применения удобрений (подготовка техники для транспортировки и внесения удобрений, приготовления тукосмесей);

- проведение диагностики питания растений;

- определение эффективности применения отдельных видов и форм удобрений и в целом системы удобрения в хозяйстве.

Система удобрения в хозяйстве предусматривает также возможность сочетания мероприятий по эффективному и экологически безопасному использованию химических средств защиты растений от вредителей и болезней и регуляторов роста.

 При разработке системы применения удобрений следует учитывать зональные почвенно-климатические условия, агротехнические и биологические особенности возделываемых сельскохозяйственных культур.

 Основной задачей системы удобрения является повышение продуктивности возделываемых культур на основе рационального использования удобрений, как в агрономическом, так и экологическом и экономическом аспектах.

 Систему удобрения разрабатывают, как правило, на ротацию севооборота полевых культур или период использования лугов, пастбищ, многолетних насаждений и ежегодно корректируют в годовых и календарных планах применения удобрений с указанием доз, форм удобрений, сроков и способов их внесения под отдельные культуры с учетом различий плодородия отдельных полей, реального размещения культур по полям, конъюнктуры рынка, хозяйственных и погодных условий. Для оценки системы удобрения используют показатели агрономической и экономической эффективности применения удобрений. Об уровне этих показателей в севооборотах и в целом по хозяйству судят по окупаемости 1 кг д. в. (в кормовых единицах) минеральных и 1 т органических удобрений прибавкой урожая возделываемых культур. Об экономической эффективности системы удобрения судят на основании чистого дохода с 1 га пашни и рентабельности применения удобрений.

 При разработке систем удобрений в севооборотах решают следующие основные задачи:

 - управление продукционным процессом сельскохозяйственных культур с целью получения планируемых или максимально возможных урожаев хорошего качества при минимальных затратах средств и времени;

 - повышение или поддержание на должном уровне плодородия почвы почв в агроценозах;

 - утилизацию отходов животноводства и растениеводства;

 - обеспечение охраны окружающей среды.

 Наряду с этим, определяют экономически и экологически целесообразные уровни интенсификации сельхозугодий. При составлении системы удобрения в севообороте следует учитывать зональные особенности технологий возделывания сельскохозяйственных культур, и предусмотренные в них почвозащитные мероприятия и способы обработки почвы.

В зависимости от плодородия почвы и особенностей рельефа полей подходы к разработке системы удобрения в отдельных севооборотах могут заметно различаться, однако во всех случаях обязательным требованием к ним являются:

 - наличие результатов агрохимического обследования всех полей в виде картограмм или паспортов полей и участков;

 - учет биоклиматического потенциала природно-сельскохозяйственной зоны;

 -определение реально возможной продуктивности сельскохозяйственных культур с учетом климатических, агрохимических, организационно-экономических условий хозяйства;

 - определение выхода в хозяйстве органических удобрений и возможностей их накопления за счет компостов, сидератов, соломы и т. п.;

 - обоснование оптимальных доз минеральных удобрений и мест внесения органических удобрений в севообороте под отдельные культуры;

 - обоснование необходимости известкования (гипсования) и определение оптимальных доз и мест внесения мелиорантов в севообороте.

 Система удобрения в севообороте представляет собой научно обоснованный план применения удобрений, составляемый, как правило, на ротацию севооборота, с учетом биологических особенностей возделываемых культур, планируемой урожайности, агрохимических свойств почвы, ее гранулометрического состава, характера трансформации удобрений в почве, предшественников и климатических условий. В плане применения удобрений в севообороте предусматривается наиболее рациональное их распределение между культурами.

 Дозы удобрений при разработке системы удобрения в севообороте рассчитывают обычно по средневзвешенному содержанию подвижных форм элементов питания в почве севооборота. В плане применения удобрений отражаются распределение органических и минеральных удобрений между культурами севооборота, дозы и сроки внесения, с целью получения планируемой урожайности всех культур севооборота, повышения или поддержания плодородия почвы и предотвращения загрязнения окружающей среды, обеспечивая при этом лучшие условия минерального питания ведущим (более рентабельным) культурам, имеющие повышенный рыночный спрос.

 Система удобрения лугов, пастбищ, многолетних плодовых и ягодных культур разрабатывается на период их использования.

Система удобрения отдельных культур, как и культур в севообороте, предусматривает определение оптимальных доз, сроков, форм и способов применения минеральных, органических удобрений и мелиорантов, а также их окупаемость.

 Дозы минеральных и органических удобрений согласно системе ежегодно корректируют в годовых планах с учётом сложившихся погодных условий, размещения культур по полям севооборота, фактического плодородия почв полей и их предшествующей удобренности с указанием, дозы, срока и способа внесения элементов питания и конкретных удобрений.

На основании годового плана составляется календарный план применения минеральных, органических удобрений и мелиорантов с указанием потребности в них за сезон на каждый севооборот и всего хозяйства, что позволяет определить необходимой объём складов для хранения удобрений.

Дозы и сроки внесения азотных удобрений в годовых и календарных планах корректируют по результатам почвенной и растительной диагностики или рекомендациям.

 Важнейшим показателем системы удобрения в севообороте является насыщенность (обеспеченность) севооборота удобрениями — среднегодовое количество применяемых на 1 га пашни (сельхозугодий) минеральных (кг/га) и органических (т/га) удобрений. В экономическом аспекте систему удобрения в севообороте характеризует окупаемостью в зерновых или кормовых единицах 1 т органических и 1 кг д. в. минеральных удобрений урожаем всех культур севооборота.

 Критерием обоснованности системы удобрения наряду с экономической эффективностью является баланс элементов питания, состояние которого позволяет прогнозировать тенденции изменения содержания питательных веществ и органического вещества в почве и контролировать экологическую ситуацию агроландшафтов.

 Требования к балансу элементов питания в севообороте обусловливаются уровнем урожайности, плодородием почвы и планируемым изменением агрохимических показателей почвы за ротацию. В зависимости от экономического состояния хозяйства и требований к почвенному плодородию баланс элементов питания может быть положительным, нулевым или отрицательным. При благоприятном экономическом состоянии хозяйства баланс азота в каждом севообороте должен быть положительным, уравновешивающим его потери из почвы в результате денитрификации и вымывания нитратов.

 Баланс фосфора и калия в зависимости от уровня их содержания в почве в доступной форме, на отдельных этапах землепользования может быть положительным, нулевым и отрицательным. Если содержание подвижного фосфора и обменного калия в почве соответствует уровню продуктивности возделываемых культур, баланс их должен быть нулевым, если содержание элементов питания в почве низкое и лимитирует продуктивность культур севооборота, то их баланс должен быть положительным, а на хорошо окультуренных почвах целесообразно поддерживать слабо-отрицательный баланс питательных веществ.

На бедных почвах баланс фосфора и калия должен быть в той или иной степени положительным. Система удобрения должна гармонично сочетать применение органических и минеральных удобрений. При использовании только минеральных или одних органических удобрений нельзя добиться максимальной продуктивности культур севооборота. Продуктивность севооборота значительно возрастаем при совместном применении минеральных удобрений и ограниченных удобрений

Развитие сельскохозяйственного производства, повышение его продуктивности неразрывно связаны с интенсификацией производства, одним из важнейших условий которой является обязательное применение удобрений. Это основной путь увеличения урожайности и валовых сборов возделываемых культур, создания прочной кормовой базы для животноводства.

Результаты исследований и практика передовых хозяйств показывают, что внесение научно обоснованных доз удобрений обеспечивает не только сохранение и воспроизводство плодородие почв, высокую продуктивность пашни, но и надлежащее качество растениеводческой продукции при снижении её себестоимости.

 Систему удобрения разрабатывают и осуществляют в тесной взаимосвязи со всем комплексом технологических приемов по возделыванию сельскохозяйственных культур. В условиях интенсивных технологий возделывания культур возрастает роль строгого соблюдения технологической дисциплины, агротехнических требований и экологических ограничений.

Базовыми этапами в разработке системы удобрения в хозяйстве являются:

- сбор и анализ информации о состоянии почвенного плодородия по полям;

- сбор и анализ агрометеорологической информации;

- сбор и анализ информации об урожайности сельскохозяйственных культур за предшествующие годы;

- оценка возможного накопления органических удобрений;

- определение потребности хозяйства в минеральных удобрениях, исходя из экономических возможностей хозяйства, доступного ассортимента удобрений, планируемого производства продукции;

- оценка необходимости проведения мероприятий по химической мелиорации почв (известкование кислых почв, фосфоритование почв с низким содержанием фосфора и повышенной кислотностью, гипсование засоленных почв);

- проектирование системы удобрений;

- расчет доз удобрений;

- составление ежегодного плана применения удобрений под конкретную культуру и плана применения удобрений в севообороте;

- расчет баланса элементов минерального питания и гумуса в почве;

 - оценка эффективности применения удобрений в хозяйстве.

Задача применения удобрений - регулирование круговорота питательных веществ с целью управления продуктивностью растений и качеством сельскохозяйственной продукции путем создания оптимальных уровней всех факторов, участвующих в формировании урожая.

Задача основного удобрения - обеспечение питания растений на протяжении всей вегетации, поэтому до посева в большинстве случаев применяют полную норму органических удобрений и подавляющую часть минеральных.

Припосевное удобрение (в рядки, при посадке в лунки, гнезда) в относительно небольших дозах вносят для снабжения растений в начальный период развития легкодоступными формами питательных веществ, прежде всего фосфора.

Для снабжения растений элементами питания в наиболее ответственные периоды вегетации применяются подкормки в дополнение к основному и припосевному удобрению. Выбор срока, способа внесения удобрений для некорневой подкормки зависит не только от особенностей биологии, питания и агротехники культур, но и от почвенно-климатических условий, вида и формы удобрений. Регулируя условия питания растений по периодам роста и развития в соответствии с их потребностью путем внесения удобрений, можно направленно воздействовать на величину урожая и его качество.

Схема разработки системы применения удобрений на заданную продуктивность культур севооборота при ограниченном количестве удобрений в хозяйстве.

Данная схема рекомендуется к применению при ограниченных материально-технических ресурсах, в первую очередь ресурсах удобрений, т.е. когда удобрениями обеспечиваются только ведущие культуры хозяйства.

1. В первую очередь предусматривают обеспечение всех культур рядковым фосфорным удобрением.

2. Обязательно выделяют азотные удобрения для весенней подкормки озимых зерновых культур и для повышения эффективности органических удобрений в год их внесения.

3. Вносят азотные удобрения на тех полях, где в предыдущие годы применялись высокие дозы фосфора и калия.

4. Вносят фосфорно-калийные удобрения после бобовых культур и повышенные их нормы под покровную культуру.

5. Допосевные удобрения применяют только под наиболее важные для хозяйства сельскохозяйственные культуры (припосевное внесение и подкормки).

Схема разработки системы применения удобрений на заданную продуктивность культур севооборота при достаточности материально-технических и финансовых ресурсов.

В этом случае следует различать 2 варианта:

- севооборот не освоен или освоен, но поля сильно различаются по аагрохимическим показателям, а, следовательно, и по возможности получения запланированного уровня урожайности;

- севооборот освоен, поля окультурены и степень их окультуренности близкая.

В первом варианте система применения удобрений на ряд лет составляют по каждому полю отдельно (или по каждому контуру поля) с учётом агрохимических показателей почвы этого поля (контура) и с указанием:

- дозы внесения химических мелиорантов (при необходимости проведения химической мелиорации) и места их внесения,

- распределения органических удобрений по культурам с указанием величины планируемого урожая культур по годам.

В итоге определяется баланс питательных веществ за ряд лет на каждом поле и возможные изменения агрохимических показателей. В случае отклонения баланса от нормы, дозы минеральных удобрений корректируют.

При втором варианте (оптимальные агротехнические условия):

- устанавливают дозы органических удобрений и химических мелиорантов под культуры в севообороте;

- на основании средневзвешанных величин содержания подвижных форм фосфора и калия в почве по севообороту определяют дозы удобрений;

- определяют баланс питательных веществ в севообороте и возможные коэффициенты использования элементов питания из удобрений (органических и минеральных);

- составляют общую схему применения удобрений в севообороте по средневзвешанным величинам содержания фосфора и калия в почве в целом по севообороту; расчитывают рациональное соотношение N:Р:К по севообороту;

- исходя из схемы применения удобрений в севообороте, составляют годовой план применения удобрений с учётом особенностей каждого поля севооборота;

- обосновывают целесообразный уровень применения удобрений под отдельные культуры с учетом их биологических особенностей с учетом достижимой окупаемости;

- определяют приёмы, сроки внесения и способы заделки удобрений на основании годового плана;

- пределяют потребность в сельскохозяйственной технике, органических и минеральных удобрениях, иных средствах химизации, формируют рациональный ассортимент удобрений, пестицидов и регуляторов роста растений для закупки и задание по накоплению органических удобрений.

**Факторы, влияющие на рост и развитие растений и эффективность удобрений**

Значительная протяженность территории Российской Федерации, большое разнообразие климатических условий, почвенного покрова и возделываемых культур исключает шаблонный подход к разработке системы удобрения, требует при решении вопросов оптимизации минерального питания растений и повышения продуктивности пашни учета региональных особенностей внутрипочвенной трансформации элементов питания и агротехники.

Урожайность сельскохозяйственных культур и качество продукции формируются под влиянием абиотических и биотических факторов. Традиционно выделяют пять групп факторов, влияющих на рост и развитие растений, а, следовательно, и их продуктивность:

- климатические: свет, температура, вода, воздух;

- эдафические - почва, материнская порода и грунтовые воды;

- топографические (рельеф, высота над уровнем моря, крутизна и экспозиция склона);

- биотические, обусловленные взаимодействием между живыми организмами в биоценозах (фитогенные - взаимовлияние растений, зоогенные - взаимовлияние растений и животных, микогенные - влияние грибов, микробиогенные - влияние микроорганизмов);

- антропогенные.

Климатические, эдафические и топографические - относятся к факторам абиотической среды, биотические и антропогенные - к факторам биотической среды.

В природных условиях все факторы взаимосвязаны и оказывают на растение совокупное воздействие. Так, например, реакция растений на свет зависит от интенсивности освещенности растения и продолжительности светового дня. Рельеф оказывает сильное влияние на климатические (температуру, влажность, освещенность и циркуляцию воздуха) и эдафи-ческие факторы. По мере поднятия над уровнем моря происходит снижение температуры, возрастает количество осадков, изменяется освещенность и спектральный состав света. Крутизна склона оказывает влияние на развитие корневой системы и кроны, экспозиция склона — на освещенность, тепловой и водный режимы. Микроповышения почвы приводят к иссушению поверхностного слоя почвы, сдуванию снега, микропонижения - к вымоканию, повреждению заморозками.

Продуктивность растений неразрывно связана с приходом солнечной радиации. Световая энергия является одним из важнейших факторов в жизни растений. Урожайность сельскохозяйственных культур, наряду с интенсивностью фотосинтеза, в значительной мере зависит от активности потребления корневой системой элементов питания, которая в значительной мере контролируется обеспеченностью корней продуктами фотосинтеза, содержанием элементов питания в почве и агрофизическими свойствами почвы (плотность, условия аэрации, водного и температурного режимов), оказывающих непосредственное влияние на развитие и активность корней. Плодородие почвы - совокупность свойств почвы, обеспечивающих необходимые условия для жизни растений - создание для них благоприятного водного, воздушного, теплового режимов и, прежде всего, ее способность удовлетворять потребность растений в элементах питания в течение всего периода вегетации.

Наиболее важным показателем плодородия почвы является уровень содержание в ней необходимых растениям элементов питания, которые могут быть использованы ими на формирование урожая. Различают потенциальное (запасное) и эффективное (реальное) плодородие почвы. Между потенциальным и реальным плодородием почвы часто нет прямой зависимости. Известны случаи, когда почва, хорошо обеспеченная основными элементами питания является недостаточно плодородной, например, мощный чернозем при плохой, несвоевременной обработке или длительной засухе. И, напротив, почва сравнительно менее богатая запасами элементов питания может быть более плодородной.

Потенциальное плодородие почвы определяется валовым (общим) содержанием (запасом) в почве элементов питания (макро-, мезо- и микроэлементов), зависящим от минералогического состава почвообразующих пород, гумуса, а также климатических условий — водного и теплового режимов. Общее содержание элементов питания в почве во много раз превышает годовую потребность культур, но не может служить надежным показателем обеспеченности ими растений, так как лишь незначительная часть общего содержания элементов питания переходит в растворимые формы и может быть использована растениями.

Эффективное плодородие почвы обусловливается содержанием в ней доступных растениям форм элементов питания и рядом других факторов, оказывающих непосредственное влияние на состояние, рост и развитие растений. Эффективное плодородие почвы реализуется на базе потенциального плодородия и в определенной мере поддается регулированию с помощью агротехнических приемов. Уровень эффективного плодородия оценивается по урожайности сельскохозяйственных культур и качеству продукции.

Максимальная урожайность сельскохозяйственных культур достигается лишь при полном гармоничном соответствии внешних факторов и уровня содержания элементов питания в почве с внутренней физиологической потребностью в них растений.

Применение удобрений является определяющим, но явно недостаточным фактором получения планируемых урожаев. Высокая эффективность минеральных удобрений и других средств химизации земледелия достигается лишь при полном соблюдении теоретически обоснованных зональных агротехнических приемов возделывания сельскохозяйственных культур. Биоклиматический потенциал, характеризующийся комплексом климатических факторов (приход солнечной радиации, продолжительность вегетационного периода, температура, количество и динамика осадков и др.), определяет возможную биологическую продуктивность сельскохозяйственных культур, рациональную структуру посевных площадей и экономическую эффективность растениеводства в регионе.

Действие климата на рост и развитие растений, процессы превращения элементов питания в почве и эффективность удобрений проявляется в основном через водный и температурный режимы, продолжительность вегетационного периода. Каждый из отдельных составляющих климата оказывают многостороннее действие на формирование урожая и качества продукции. Климат определяет направленность и интенсивность процессов превращения удобрений в почве, оказывает прямое влияние на условия произрастания сельскохозяйственных растений и потребление ими элементов питания из почвы и удобрений.

 Основной задачей земледелия является повышение использования растениями энергии солнечной радиации. Продуктивность растений неразрывно связана с приходом солнечной радиации. Световая энергия является одним из важнейших факторов в жизни растений. Приходящая на землю энергия солнца состоит в основном из видимых лучей (360-750 нм), на долю которых приходится около 50% энергии и невидимых лучей: ультрафиолетовых (200-360 нм) - 3-4% и инфракрасных (750-1200 нм)—45-46%. С точки зрения участия солнечного излучения в процессах фотосинтеза ключевая роль принадлежит видимомой части спектра излучения 400-740 нм, получившему название физиологически (фотосинтетически) активной радиации (ФАР).

Основная энергия для фотосинтеза поставляется красными (620-740 нм) и оранжевыми (595-620 нм) лучами. Желтые (565-595 нм) и зеленые (490-565 нм) лучи физиологически малоактивны и практически не влияют на интенсивность фотосинтеза. Синие (420-490 нм) и фиолетовые (360-420 нм) лучи оказывают влияние на развитие побегов и листьев, ультрафиолетовые лучи (220-360 нм) способствуют образованию биологически активных веществ задерживающих рост верхушечной почки и вытягивание стебля. Однако, несмотря на разную физиологическую роль отдельных лучей, растения нормально развиваются только при наличии всего спектра видимых лучей.

В полевых условиях посевы используют чаще всего 1-3 % ФАР, однако на отдельных этапах роста и развития растений КПД (коэффициент полезного действия) ФАР может достигать 4-6%. Исходя из биологического потенциала новых сортов зерновых культур, урожайность зерна 6 т/га следует считать удовлетворительной, 9 -- хорошей, 12 - высокой, теоретически возможной при КПД ФАР 5-6% - 18-20 т/га з.е. Максимальная интенсивность фотосинтеза и более полное использование растениями ФАР достигается лишь при высоком уровне сбалансированного питания растений макро- и микроэлементами, благоприятном диапазоне температур и влажности почвы. Недостаточное или избыточное обеспечение растений элементами питания негативно сказывается на фотосинтезе, продукционном процессе и эффективности удобрений.

Не менее важным абиотическим фактором, чем свет, является температура. Большинство растений может жить лишь в диапазоне от -40 до +40 °С. Температура как абиотический фактор способна существенно влиять на темпы развития, физиологическую активность растений, поскольку подвержена суточным и сезонным колебаниям.

Тепло наряду со светом представляет основной фактор жизни растений и необходимое условие для биологических, химических и физических процессов в почве. Недостаток тепла задерживает рост растений. Низкие температуры могут вызвать не только повреждение их наземной части, но и подмерзание корней. Особенно сильно при этом страдают молодые растения, они слабо развиваются и нередко погибают. Потребность в тепле меняется даже в течение суток. Так, ночью растения не расходуют энергию на фотосинтез, следовательно, потребность в тепле низкая. Кроме того, снижается расход питательных элементов на дыхание. Ночью благоприятная температура воздуха для растений должна быть на 5-7оС ниже, чем днем. Сильнейшим стрессором, воздействующим на растения, является резкое повышение или понижение температуры в вегетационный период. На молекулярном уровне показано, что при экспериментальных низкотемпературных воздействиях растения замедляют свой обмен и переживают этот опасный период в заторможенном состоянии, нарушается работа фотосинтетического аппарата. Особенно к действию отрицательных температур чувствительны органы цветка. Растения с низким содержанием сахаров в клетках растений озимых культур, накопленных за осенний период (слабое развитие листового аппарата, слабое кущение, генетическая предрасположенность) и способствующих усилению морозостойкости при действии низких температур особенно подвержены стрессу. При возобновлении весенней вегетации важно восстановить активность хлоропластов, так как чем она выше, тем эффективней будут проходить фотосинтетические реакции.

Земледельческие районы, где сумма эффективных температур составляет 1200-1800°С, сельскохозяйственные культуры находится в условиях недостаточной теплообеспеченности. Пониженные температуры заметно снижают скорость поглощения элементов питания растениями и интенсивность микробиологических процессов в почве.

В табл.1 приведены данные о потребности основных сельскохозяйственных культур в тепле.

Таблица 1

**Потребность основных сельскохозяйственных культур в тепле**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Культура** | **Продолжительность вегетационного периода, дни** | **Сумма хозяйственных температур выше 10оС** |
| Пшеница озимая | 90-125 | 1500-1800 |
| Пшеница яровая | 85-120 | 1600-1900 |
| Рожь озимая | 80-115 | 1350-1650 |
| Ячмень яровой | 70-110 | 1450-1600 |
| Кукуруза | 90-200 | 2550-3550 |
| Свекла сахарная | 140-180 | 2150-2550 |
| Подсолнечник | 115-145 | 2200-2600 |
| Картофель | 80-130 | 1300-1900 |
| Рис | 95-160 | 2650-3650 |

Дефицит влаги часто является лимитирующим фактором повышения урожайности и должен учитываться при формировании системы удобрений как севооборота так и отдельных культур. Он сопровождается отставанием в росте, обрывом корней вследствие появления трещин, потерей тургора листьев и нарушением физиологических реакций. В условиях водного дефицита отмечаются увеличение биосинтеза и выделения этилена (гормона старости). Так, при появлении этилена в листьях, в точках роста, колосках пшеницы и других растений - рост начинает подавляться. При продолжительном водном стрессе репродуктивная фаза наступает раньше. Так как дефицит влаги часто сопровождается высокими температурами, колос получается малоозерненный, а зерно - щуплое. Существует еще один вид засухи, который встречается не так уж и редко - «зимняя засуха». Она возникает на незащищенных снежным покровом посевах озимых, под которыми почва промерзает на такую глубину, что практически вся корневая система оказывается в этом промерзшем слое. Если в дневные часы такие посевы подвергаются интенсивной инсоляции, которая несколько повышает температуру листьев, вызывает усиление транспирации, но при этом не прогревает почву, то происходит обезвоживание растений вплоть до губительного для них уровня. Засуху такого рода можно назвать физиологической, так как влага в почве есть, но находитс в недоступной для растени форме.

Переувлажнение почвы приводит к снижению всхожести семян, уменьшению количества корневых волосков и вторичной корневой системы. Как правило, наблюдается в мелких западинах и блюдцах. При переувлажнении растение торопится закончить процесс образования семян, даже если этого едва ли хватит для выживаемости следующего поколения растений. Полегание и разновременное созревание также может быть следствием переувлажнения почвы.

Наиболее высокая эффективность удобрений проявляется обычно при влажности почвы — 65-80% НВ.

Если учесть, что среднегодовое количество осадков в Нечерноземной зоне значительно (в 1,5-1,7 раза) превышает испарение, то несмотря на неравномерность выпадения осадков по годам и распределения в течение вегетационного периода, влагообеспеченность растений в течение вегетации сельскохозяйственных культур, как правило, не лимитирует их рост и развитие. В степных районах, напротив, количество осадков и динамика их распределения в течение вегетации является ключевым фактором продуктивности сельскохозяйственных культур.

Засоление почв приводит к снижению полевой всхожести, торможению роста, уменьшению площади ассимилирующей поверхности, снижению чистой продуктивности фотосинтеза, массы 1000 зерен, общей продуктивности растений за счет повышения осмотического давления клетки, антагонизма ионов К/Na, нарушений нормального обмена веществ. Урожайность зерновых культур снижается на 30-70 %.

Повышенная кислотность или повышенная щелочность почв ограничивают продуктивность пшеницы. Кислотность и щелочность также влияют на многие биологические процессы, протекающие в почве, а также на болезнетворные организмы, причиняющие вред пшенице, клубеньковые бактерии, которые развиваются на корнях бобовых растений и способны поглощать азот из атмосферы. Азот хорошо связывается клубеньковыми бактериями в нейтральных или щелочных почвах, а в кислых почвах этот процесс угнетается.

Большое разнообразие природных условий на территории Российской Федерации является причиной нестабильности урожайности сельскохозяйственных культур по годам и регионам страны. Показатель устойчивости урожайности зерновых культур является максимальным для Северного Кавказа, минимальным - для Поволжья и Урала.

При разработке рекомендаций по применению удобрений следует обязательно учитывать агроклиматическую информацию. Перечень показателей агроклиматических условий (среднемноголетние данные) и агрометеорологических условий по данным ближайших к рассмтриваемому хозяйству метеостанций приведен в табл.2

Таблица 2.

**Перечень показателей агроклиматических и агрометеорологических условий, учитываемых при формировании системы удобрений**

|  |  |
| --- | --- |
| **Показатель** | **Ед.измерений** |
| Годовая сумма среднесуточных температур воздуха выше 10оС | оС |
| Среднесуточная температура воздуха (за год, месяц, декаду) | оС |
| Продолжительность безморозного периода | сутки |
| Продолжительность периода с температурой воздуха выше 10оС за вегетационный период | сутки |
| Продолжительность периода снежного покрова | сутки |
| Высота снежного покрова | см |
| Годовая сумма температур почвы выше 10оС на глубине 10 см | оС |
| Осадки (за год, по месяцам, декадам, за вегетационный период) | мм |
| Количество осадков за период с температурой воздуха выше 10оС | мм |
| Коэффициент увлажнения по Высоцкому-Иванову (K=R/Ep где R – сумма осадков за месяц; Ep– месячная испаряемость) | - |
| Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова ГТК=10R/Σtгде R – месячное количество осадков;Σt – сумма температур за месяц  | - |

Климатические условия, в общем комплексе факторов, определяют эффективность удобрений и должны быть учтены при расчете доз удобрений. Чем выше уровень светового питания при нормальной влагообеспеченности, тем больше синтезируется углеводов в растениях и тем больше азота они способны усвоить. Температура почвы определяет темпы трансформации питательных элементов в ней и поглощение их растениями. Чем ниже температура почвы, тем уменьшаются поступление, передвижение и включение в обмен веществ азота и фосфора, а также потребление корнями этих и других элементов резко снижается. С повышением температуры почвы возрастают мобилизация в почве и поглощение растениями питательных элементов почвы и удобрений. Чем выше температура воздуха оптимальной температуры в дневное время, тем ниже эффективность удобрений.

Удовлетворение потребностей растения в воде является не только важным условием его существования, но и фактором, во многом определяющим поступление и использование питательных веществ, вносимых с удобрениями. Влияние увлажненности и теплообеспеченности на формирование урожая сельскохозяйственных культур осуществляется в совокупности через гидротермический коэффициент (ГТК). На основании статистических данных по урожайности зерновых культур и метеорологических условий установлено влияние гидротермических условий на урожайность сельскохозяйственных культур.

Температура оказывает большое влияние на рост корней. Низкие температуры почвы способствуют поверхностному расположению корней, существенно снижает их рост и активность. У большинства растений наиболее мощная разветвленная корневая система формируется при температуре почвы 20-25°С.

При определении срока внесения удобрений важно учитывать существенное влияние температуры почвы на поступление элементов питания в растения. Установлено, что при температуре ниже 12°С значительно снижается использование растениями фосфора, калия и микроэлементов из почвы и удобрений, а при температуре ниже 8°С заметно снижается также потребление минерального азота. Для большинства сельскохозяйственных культур температура 5-6°С является критической для поступления основных элементов питания в растения.

Температура является важным фактором, определяющим возможности и сроки возделывания сельскохозяйственных культур. Протекающие в почве биологические и химические процессы трансформации элементов питания находятся в прямой зависимости от температурного режима. Теплообеспеченность посевов характеризуется суммой среднесуточных температур воздуха выше 10°C за период вегетации. Как высокие, так и низкие температуры нарушают течение биохимических процессов в клетках, и тем самым могут взывать в них необратимые изменения, приводящие к прекращению роста и гибели растений. Повышение температуры до 25-28°С увеличивает активность фотосинтеза, а при дальнейшем ее росте начинает заметно преобладать дыхание над фотосинтезом, что приводит к снижению массы растений. Поэтому большинство сельскохозяйственных культур при температуре выше 30°С, растрачивая углеводы на дыхание не дают, как правило, прироста урожая. Снижение температуры окружающей среды с 25 до 10°С уменьшает интенсивность фотосинтеза и рост растений в 4-5 раз. Температура, при которой образование продуктов фотосинтеза равна их расходу на дыхание называется компенсационной точкой.

Наиболее высокая интенсивность фотосинтеза у растений умеренного климата наблюдается в интервале 24-26°С. Для большинства полевых сельскохозяйственных культур оптимальная температура днем составляет 25°С, ночью - 16-18°С. При повышении температуры до 35-40°С фотосинтез прекращается в результате нарушения биохимических процессов и чрезмерной транспирации. Существенное отклонение температуры от оптимальной в сторону повышения или понижения заметно снижает ферментативную активность в клетках растений, интенсивность фотосинтеза и поступление элементов питания в растения.

Теплообеспеченностью вегетационного периода в значительной мере обусловливается структура посевных площадей и возможность выращивания более продуктивных позднеспелых культур, которые продолжительное время могут использовать солнечную энергию на формирование урожая или проводить повторные посевы после раноубираемых культур.

В условиях Нечерноземной зоны наблюдается прямая зависимость продуктивности сельскохозяйственных культур от суммы температур.

В лесостепной и степной зонах, в орошаемых условиях какой-либо достоверной связи между количеством положительных температур и урожаями сельскохозяйственных культур не установлено. В центральных и южных регионах страны повышение или понижение температуры на 2-3°С не оказывает существенное влияние на продуктивность растений.

Большое влияние на интенсивность фотосинтеза и эффективность удобрений оказывает влагообеспеченность растений. От тургорного состояния растений зависит степень раскрытия устьиц, скорость поступления в листья диоксида углерода и выделение кислорода. В условиях засухи и чрезмерной влажности устица обычно закрываются и ассимиляция углекислоты (фотосинтез) прекращается. Наиболее высокая интенсивность фотосинтеза наблюдается при небольшом дефиците воды в листе (10-15% от полного насыщения), когда устица максимально раскрыты. Только в условиях оптимального водного режима корневая система растений проявляет наиболее высокую активность потребления элементов питания из почвенного раствора. Дефицит влаги в почве приводит к снижению скорости передвижения воды и элементов питания по ксилеме к листьям, интенсивности фотосинтеза и уменьшению биомассы растений.

Важно не только количество осадков, но и динамика их распределения в течение вегетационного периода применительно к отдельным культурам. Продуктивность сельскохозяйственных культур в значительной мере обусловливается обеспеченностью влагой в наиболее ответственные фазы роста и развития растений.

Для зоны дерново-подзолистых почв установлена тесная корреляционная связь между урожайностью и количеством осадков в конце мая - начале июня для зерновых, в июле - августе для картофеля, кукурузы, корнеплодов и овощных культур. Недостаток влаги в эти периоды значительно снижает урожай растений и эффективность удобрений.

Применение азотных и фосфорно-калийных удобрений значительно увеличивает дефицит влаги, поскольку пропорционально повышению урожайности надземной массы возрастает и водопотребление. Установлено, что на удобренных полях иссушающее действие растений на почву начинает проявляться раньше и на большую глубину, нежели на неудобренных. Поэтому при дефиците влаги удобренные поля рекомендуют засевать как можно раньше, чтобы к моменту наступления засухи и иссушения верхнего слоя почвы корни достигли нижних более увлажненных горизонтов. Наиболее важным мероприятием влагонакопления в степных районах является снегозадержание, раннее боронование для закрытия влаги и ранний сев.

В лесостепной и сухостепной зоне влагообеспеченность является одним из важнейших факторов продуктивности сельскохозяйственных культур. В зонах достаточного и избыточного увлажнения промывной водный режим оказывает существенное влияние на обеспеченность растений элементами питания, поскольку с нисходящим током воды из корнеобитаемого слоя почвы выносятся значительное количество азота, кальция, магния и растворимых гумусовых веществ.

Большое влияние на урожайность сельскохозяйственных культур, эффективность удобрений, сроки и агротехнические приемы полевых работ оказывает экспозиция и рельеф полей, поскольку склоны разной экспозиции и крутизны значительно отличаются содержанием в почве гумуса, элементов питания, тепловым и водным режимами и отзывчивостью сельскохозяйственных растений на удобрения. Почвы северных и северо-восточных склонов, как правило, более гумусированы, лучше обеспечены влагой, выше снежный покров, позже оттаивают по сравнению с южными склонами и, как правило, более тяжелого гранулометрического состава.

Почвы южных и юго-западных склонов более теплые по сравнению с северными, раньше оттаивают, характеризуются интенсивным паводковым стоком талых и ливневых вод, отсюда, как правило, более эродированы, содержат меньше илистых частиц. В почвах южных склонах минерализация пожнивно-корневых остатков и органических удобрений протекает более интенсивно, поэтому они менее гумусированы. Чем выше снежный покров, тем меньше глубина промерзания почвы, она лучше впитывает весенние талые воды и паводки меньше разрушают почву. Характеристика почв разной экспозиции важно учитывать при планировании сроков полевых работ и потребности в технике для внесения удобрений.

Пороговые значения климатических факторов и рельефа, которые следует учитывать при формировании рекомендаций по применению удобрений приведены в табл.3.

Таблица 3.

**Пороговые значения климатических факторов и рельефа**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***Критерий*** | ***Определение*** | ***Пороговое значение*** |
| Низкие температуры | Число дней со средней температурой более 50С | Менее 180 дней |
|  | Сумма температур за период вегетации (накопление температур выше 50С) | Менее 15000С |
| Тепловой стресс | Число дней с температурой выше 350С | 1 или более периодов, в течение которых 10 дней подряд температура выше 350С |
| Почва + климат | Число дней с температурой выше 50С, для которых количество осадкой и доступной воды в почвенном профиле превышает ½ потенциала эвапотранспирации | Менее 90 дней |
| Рельеф | Угол наклона | Более 15% |

Вляние влагообеспеченности на урожайность и качество продукции растениеводства связано в основном с доступностью растениям почвенной влаги и питательных веществ из почвы и удобрений, а также влиянием на фитосанитарное состояние почв и посевов. При влагообепеченности почв ниже оптимальной происходит замедление водоотдачи почвой растениям, падение скорости тока воды от корней к листьям, снижение биологической активности почв, снижение коэффициента использования фотосинтетической активности (ФАР), а, следовательно, и продуктивности растений.

По гидротермическим условиям выделяют несколько типов территорий:

* территории с избыточным увлажнением – *К*ув больше 1, т. е. 100-150%;
* территории оптимального (достаточного) увлажнения. В их пределах наблюдается соразмерность между суммой осадков и испаряемостью;
* территории умеренно-недостаточного (неустойчивого) увлажнения - луговые степи ([лесостепи](http://www.geo-site.ru/index.php/2011-01-09-16-50-20/71/612-2011-09-23-19-38-23.html)) и сухие степи;
* территории недостаточного увлажнения - аридные зоны.

На территориях с избыточным увлажнением обилие влаги отрицательно сказывается на процессах аэрации почвы. Это нарушает биологические аэробные процессы в почве, нормальное развитие многих растений нарушается или даже прекращается. Для вовлечения таких территорий в сельскохозяйственный оборот необходимы осушительные мелиорации.

Территорий с недостаточным увлажнением больше, чем переувлажненных. Основным мелиоративным мероприятием в них является орошение – искусственное пополнение запасов влаги в почве для нормального развития растений и обводнение. В степных зонах обязательными мерами являются снегонакопление и снегозадержание с целью увеличения продолжительности снеготаяния и пополнения запасов грунтовых вод.

Изменение условий увлажнения резко сказывается на эффективности минеральных удобрений. Действие минеральных удобрений четко коррелирует с гидротермическими условиями. При разработке рекомендаций по примению удобрений необходимо также учитывать степень континентальности климата. Особенность резко континентального климата это сухость и большие колебания температуры от ночи ко дню, малое количество осадков и большие колебания температуры от зимы к лету. Большие внутригодовые различия значений температуры (следствие континентальности климата) способствуют формированию на территории России зоны рискованного земледелия, для которой характерна значительная неустойчивость урожаев.

**Оценка потенциальной урожайности сельскохозяйственных культур, лимитируемой агроклиматическими ресурсами**

Биоклиматический потенциал, характеризующийся комплексом климатических факторов (приход солнечной радиации, продолжительность вегетационного периода, температура, количество и динамика осадков и др.), определяет возможную биологическую продуктивность сельскохозяйственных культур, назначение земель, структуру посевных площадей и экономическую эффективность растениеводства в данном регионе.

Для расчетов климатически обеспеченной урожайности (КОУ) сельскохозяйственных культур используют зависимости, основанные на прямых статистических связях её с лимитирующими метеорологическими факторами. Так, например, при ограниченной влагообеспеченности посевов, климатически обеспеченную урожайность можно приближенно оценить с помощью двух подходов:

1. По продуктивной влаге

Количество продуктивной влаги определяют по данным о выпадаемых в течение года осадков за вычетом непроизводительных расходов влаги. Непроизводительные расходы влаги – (горизонтальный сток, вертикальная фильтрацию за пределы корнеобитаемой зоны и испарение). По обобщенным данным, использование годового количества осадков на различных по механическому составу почвах колеблется от 42 до 88%. Остальные 12 - 58% составляют непроизводительные расходы. Песчаные почвы имеют низкую влагоемкость, в них удерживается лишь 42 - 48% влаги от годового количества осадков.

Климатически обеспеченный урожай рассчитывают по формуле:

KOУ=10W/Kw,

*где: КОУ - климатически обеспеченный урожай сухой биомассы, т/га;*

*W - продуктивная влага, мм;*

*Kw - коэффициент водопотребления (количество воды, расходуемое на формирование единицы растительной биомассы).*

*Для перехода от урожая сухой биомассы к сбору зерна используют формулу*

*У=100\* КОУ/(100-Аст)\*В,*

*где Аст- влажность стандартного зерна, %;*

*В-сумма частей в соотношении основной и побочной продукции в биомассе.*

1. *По гидротермическому показателю продуктивности (ГТП по А.М.Рябчикову)*

Базовая эмпирическая формула расчета ГТП:

КОУ=2,2ГТП – 1

*где ГТП* - *гидротермический показатель продуктивности (балл), рассчитывают по формуле:*

*ГТП=g\*W\*n/36R,*

*W – продуктивная влага, определяемые как разность между годовой суммой осадков и стоком, мм;*

 *п — продолжительность вегетации, декады,*

*R - годовой радиационный баланс, кДж/см2;*

 *g* — *переводной коэффициент, равный 4,2 кДж/см2 мм.*

Пересчет сухой биомассы (Y) в урожай хозяйственно полезной продукции (у) осуществляют на основе соотношения у=100Y/( 100-Аст))\*В,

*где Аст* - *стандартная влажность хозяйственно полезной части урожая, %; В*— *сумма частей в соотношении масс основной и побочной продукции в общем урожае биомассы.*

Для получения сопоставимых результатов расчеты должны проводиться в пересчете на стандартную влажность (для зерна – 14%, для картофеля - 80%, для корнеплодов - 80%, для сена многолетних трав - 16%, для зеленой массы вико-овсяной смеси - 75%).

Ввиду эмпирического характера описанных методик расчет КОУ в каждом конкретном случае целесообразно проводить не одним, а несколькими способами, принимая для дальнейшего использования меньшее из полученных значений.

Агроклиматические факторы имеют решающее значение для организации эффективного использования удобрений. Так, от количества осадков в осенне-зимний период зависит эффективность ранневесенней азотной подкормки озимых. Если в осенне-зимний период выпало 160-170 мм осадков (50% от нормы), то подкорма азотом будет малоэффективной. При выпадении 240 мм осадков (80% от нормы) целесообразно использовать для подкормки малые дозы азота. Если выпаделение осадков находится в пределах многолетней нормы (280-320 мм), то следует использовать умеренные дозы азота. При осадках выще многолетней нормы – эффективны высокие дозы азота.

Наибольшая эффективность удобрений наблюдается при содержании влаги в почве в пределах 80-90% от наименьшей влагоемкости почв. При более высоком или более низком содержании влаги агрономическая эффективность минеральных удобрений снижается.

Оптимальный температурный интервал для поступления питательный веществ в растения – 10-25оС. При температуре 5-6оС и ниже поглощение питательных веществ, особенно азота и фосфора, растениями снижается.

Изменчивость погодных условий приводит к значительному варьированию прибавок урожая от удобрений. По многолетним данным, коэффициент вариации прибавок урожая зерновых культур от полного минерального удобрения в Нечерноземной зоне составляет 40%, в Черноземной зоне - 44%. При этом изменение значений прибавок урожая по годам от одностороннего внесения минеральных удобрений выше, чем от внесения полного минерального удобрения. За счет взаимодействия азота, фосфора и калия действие полного минерального удобрения на урожай зерновых культур более стабильное, чем от азотных, фосфорных и калийных удобрений, используемых порознь.

Фосфорные и калийные удобрения повышают способность растений противостоять засухе, низким температурам и заморозкам. Оптимальное содержание фосфора в почве способствует противостоянию озимой пшеницы засушливым условиям.

В целом связь эффективности удобрений с метеорологическими факторами характеризуется следующими коэффициентами корреляции, приведенными в табл.4.

Таблица 4.

**Значения коэффициентов корреляции эффективности минеральных удобрений от климатических условий**

|  |  |
| --- | --- |
| **Показатель** | **Значение коэффициента корреляции** |
| **Для Нечерноземной зоны** | **Для Черноземной зоны** |
| Осадки | 0,20-0,50 | 0,30-0,78 |
| Влажность почвы | 0,30-0,53 | 0,60-0,70 |
| Температура воздуха | 0,20-0,25 | 0,30-0,40 |
| Дефицит влажности воздуха | 0,40-0,46 | 0,30-0,50 |
| Комплекс климатических условий | 0,50-0,81 | 0,60-0,86 |

**Учет физиологических аспектов системы удобрений**

Применение минеральных удобрений в практике аграрного производства может иметь положительный экономический и экологический эффекты только на основе знания физиологии минерального питания. Механизмы поглощения и усвоения питательных веществ растением сложны и пока до конца не выяснены. Основные события, происходящие в системе «растение – почва –удобрения», можно представить в виде следующей схемы:

- направленный рост корневой системы в том объеме почвы, где находятся питательные вещества. Это явление получило название «корневой перехват»;

- активное воздействие корневых выделений (органические кислоты, сахара, аминокислоты, ферменты, витамины, фитогормоны, угольная кислота и др.) на твердую фазу почвы - подготовка доступного питания из минеральной и органической частей почвы;

- передвижение солей в почвенном растворе к активной части корневой системы путем диффузного потока в связи с уменьшением их концентрации у поверхности корня и возникновением перпендикулярного к его поверхности градиента концентрации, в направлении которого ионы диффундируют к корню из ризосферы;

- массовый поток ионов к поверхности корней. При поглощении воды с корнями растений ионы получают возможность двигаться к корню с массовым потоком воды. Это основной путь обеспечения растений питательными веществами. Он зависит от содержания воды в почве, концентрации ионов в почвенном растворе, скорости их поглощения и величины корневой системы;

- поглощение питательных веществ всасывающей зоной корневой системы вследствие обменной адсорбции на клеточных стенках и мембранах протоплазмы (накопление ионов в свободном пространстве);

- транспорт катионов и анионов через мембраны внутрь цитоплазмы и использование их в синтетических процессах клеток ризодермы;

- поперечный транспорт питательных веществ в тканях корня по апопласту и симпласту к проводящим сосудам (часть ионов может поступать по внеклеточному пути;

- передвижение минеральных веществ по ксилеме с водой из корней в надземные органы (дальний ксилемный транспорт);

- обмен органическими соединениями между листьями и корнями (углеводы, аминокислоты, фитогормоны). Эти процессы выполняются за счет дальнего флоэмного, ксилемного и межклеточного (паренхимного) траснспорта;

- вторичное использование растением некоторых элементов (N, P, K), передвигающихся из старых листьев в молодые, из вегетативных органов в репродуктивные. Этот процесс называют реутилизацией.

Приведенная краткая схема минерального питания свидетельствуют о том, что система рационального применения удобрений должна строиться с учетом всех звеньев этого сложного процесса.

Общий недостаток или избыток элементов вызывает нарушения обмена веществ в клетках растения и последующие изменения его внешнего вида. Каждый элемент вызывает вполне определенное изменение, как в характере внутренних процессов, так и во внешнем состоянии растений. В табл.5 приведены некоторые внешние признаки слабого развития растений при недостатке необходимых питательных элементов.

Таблица 5.

**Внешние признаки состояния растений при недостатке элементов минерального питания**

|  |  |
| --- | --- |
| **Элемент** | **Симптомы**  |
| Азот | Бледно-зеленая окраска и пожелтение листьев нижних ярусов; слабый рост растений и раннее опадание листьев; пониженное кущение злаков; уменьшение размеров вновь появляющихся листьев и цветков. |
| Фосфор | Резкое замедление роста; темно-зеленая с голубизной окраска листьев; иногда фиолетовые, красные, пурпурные оттенки; темный, иногда почти черный цвет засыхающих листьев; все признаки обнаруживаются на старых листьях. |
| Калий | Подсыхание листьев нижних ярусов на верхушках и по краям («краевой ожог»), морщинистость листьев; засыхают участки листа и между жилками; листья теряют тургесцентное состояние. |
| Кальций | Погибает точка роста, засыхает верхушка главного стебля; хлороз молодых листьев; гибель корней. |
| Сера | Бледно-зеленая окраска листьев без отмирания тканей. |
| Магний | Хлороз по краям и между жилками старых листьев; окраска из зеленой переходит в желтую, красную, фиолетовую. |
| Железо | Равномерный хлороз между жилками листа; листья (молодые) бледно- зеленые и желтые без отмирания тканей. |
| Медь | Хлороз, побеление кончиков листьев, пустозерность. |
| Бор | Отмирание верхушечных почек, корешков и листьев; отсутствие цветения; опадание листьев. |
| Цинк | Формируются чахлые растения со слабо развитым апикальным доминированием. У плодовых культур характерным признаком является мелколистность. |
| Марганец | Хлороз между жилками сначала на молодых листьях, а затем и на старых. Пораженные участки отмирают. |
| Молибден | Пятнистость на старых листьях, затем и на молодых; листья загибаются внутрь и засыхают с верхнего конца. |

Однако следует иметь в виду, что диагностика питания растений по внешним признакам по самой сути своей улавливает сравнительно далеко зашедшую степень голодания, которая обычно не проходит бесследно для растений и которую полностью исправить внесением удобрений часто уже затруднительно. В связи с этим представляют большой интерес разрабатываемые в последнее время методы листовой и тканевой диагностики. Это контроль за условиями питания по содержанию неорганических форм соединений элементов в тканях или в листьях свежих растений, соке или вытяжке из них.

**Диагностика обеспеченности сельскохозяйственных культур элементами питания**

*Программа диагностического контроля включает:*

- рекогносцировочное обследование участка; фенологические наблюдения;

* учет показателей визуальной диагностики (описание отклонений растений от нормы -габитуса растения и формы его органов, окраски листьев, поражения болезнями и повреждения вредителями и других изменений);
* отбор почвенных и растительных образцов; биометрический контроль за ростом и развитием растений по фазам;
* учет урожая, анализ его структуры и качества;
* химические анализы растений по фазам развития на общее содержание элементов питания и их неорганических форм;
* агрохимический анализ почв;
* составление заключения о степени обеспеченности растений питательными веществами по этапам формирования урожая;
* расчет доз удобрений с учетом показателей почвенной и растительной диагностики.

Основу почвенной диагностики составляет систематическое определение обеспеченности почв усвояемыми формами питательных элементов, реакции среды и других показателей почв. Для определения условий азотного питания растений в почве определяют содержание минеральных форм азота – суммы нитратного и аммонийного азота.

Из всех агрохимических показателей, определяемых при почвенной диагностике, наиболее неустойчивым и быстроменяющимся даже в течение нескольких дней является содержание минеральных форм азота. Поэтому этот показатель не используют при составлении агрохимических карт, картограмм, паспортов полей. Однако для рационального применения минеральных азотных удобрений необходимо учитывать данные о запасах минеральных форм азота в почвах. Следовательно, необходимо проводить оперативную почвенную диагностику азотного питания растений.

Результаты многочисленных полевых опытов на территории Западной Сибири свидетельствуют о достаточно высокой обратной связи между количеством нитратного азота в почвах перед посевом и прибавкой урожая яровой пшеницы от применения азотного удобрения. На всех почвах и во всех зонах Сибири чётко прослеживается количественная зависимость накопления нитратного азота от предшественника в севообороте. Наиболее активно процессы нитрификации протекают в паровом поле. В чернозёмах, тёмно-серых лесных, тёмно-каштановых и лугово-чернозёмных почвах в полуметровом слое парового поля в течение лета может накапливаться до 120-210 кг нитратного азота на 1 га пашни. Вследствие этого на почвах с высоким потенциальным плодородием при посеве по пару, даже при интенсивных технологиях возделывания полевых культур этот фактор необходимо учитывать при разработке системы удобрений.

Сибирскими агрохимиками предложены градации обеспеченности почв азотом и потребности в азотных удобрениях(табл.6).

Удобрения должны применяться в строгом соответствии с диагностическими показателями обеспеченности растений элементами питания, в соответствии с прогнозами погоды, появления вредителей, болезней и сорняков, возможного полегания посевов. Практически реализовать эти требования можно лишь на основе грамотного использования методов диагностического контроля минерального питания сельскохозяйственных культур, обеспечивающих нормативную окупаемость элементов питания урожаем, повышение качества продукции и предотвращение загрязнения окружающей среды.

Таблица 6.

**Индексы обеспеченности почв нитратным азотом и определения потребности полевых культур в азотных удобрениях для Сибири**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Обеспеченность****почв****нитратным****азотом** | **Градации обеспеченности N-NО3 по слоям почвы, мг/кг** | **Потребность****в азотных****удобрениях** |
| **глубина слоя, см** |
| **0-20** | **0-40** | **0-60** |
| Очень низкая | < 10 | < 5 | < 3 | Очень высокая |
| Низкая | 10-15 | 5-10 | 3-8 | Высокая |
| Средняя | 15-20 | 10-15 | 8-12 | Средняя |
| Высокая | > 20 | > 15 | > 12 | Отсутствует |

Удобрения должны применяться в строгом соответствии с диагностическими показателями обеспеченности растений элементами питания, в соответствии с прогнозами погоды, появления вредителей, болезней и сорняков, возможного полегания посевов. Практически реализовать эти требования можно лишь на основе грамотного использования методов диагностического контроля минерального питания сельскохозяйственных культур, обеспечивающих нормативную окупаемость элементов питания урожаем, повышение качества продукции и предотвращение загрязнения окружающей среды.

Химическая диагностика растений

При химической диагностике определяют содержание элемента или его соединений *в индикаторном органе* растения. Концентрация каждого элемента определяется его поступлением в ткани, активностью его использования растением на биосинтез и процессы прироста биомассы. Если прирост биомассы опережает темп поступления элемента в растение, то его концентрация уменьшается. При одинаковых скоростях этих процессов концентрация не изменяется. Если рост замедлен по каким-либо причинам, возможно повышение содержания элемента в растении. Повышенная концентрация элемента в тканях растения возможна также в случае его высокого содержания в почвенном растворе, когда при хорошем росте биомассы поступление элемента в растение опережает темп роста.

В связи с этим для правильной оценки условий питания культур методами химической диагностики не всегда достаточно ограничиваться определением концентрации элементов и их соотношения в растении. Следует учитывать и общее накопление или вынос элементов питания анализируемым органам или целым растением, то есть использовать данные биометрической диагностики. Кроме того, необходимо учитывать взаимодействие элементов при поступлении в растение и определять одновременно содержание в растении не менее трехэлементов: азота, фосфора, калия.

Среди методов химической диагностики растений наиболее распространены листовая и тканевая диагностикав сочетании с биометрико-фенологическими данными. Выбор метода химической диагностики зависит от цели исследования: для быстрого ориентировочного контроля условий питания растений на ранних фазах развития следует пользоваться методами тканевой диагностики; для корректировки доз удобрений по результатам растительных анализов, а также при диагностировании условий питания растений в поздниефазы развития следует пользоваться методами листовой диагностики.

Листовая диагностика **-** это контроль обеспеченности растений элементами питания по валовому химическому анализу листьев (целого растения или отдельных органов растения). Валовое содержание элемента в индикаторном органе и сопоставление его с состоянием растений, величиной и качеством урожая - общепринятый критерий обеспеченности растения питательными веществами. Анализ целого растения в период уборки дает представление о выносе питательных веществ урожаем. Это позволяет определить ряд важных показателей различия и потребности растений в элементах питания по фазам развития, использование питательных веществ различными культурами и сортами, доступность растениям питательных веществ почвы и удобрений и тем самым уточнить систему применения удобрений.

Тканевая диагностика - это контроль за условиями питания растений по содержанию неорганических форм соединений элементов в тканях свежих растений, соке из них или вытяжке из растений. Экспресс-методами анализов растений являются полуколичественныеопределения содержания в растениях питательных веществ по реакциям, проводимым на сре­зах свежих растений, или в капле сока, выжатого из стебля растения. По интенсивности цветных реакций сока растений устанавливают концентрацию в их тканях нитратного азота, неорганического фосфора и калия (по методу Церлинг и методом Белоусова), нитратов, фосфатов, калия, магния, хлора (по Магницкому).

Кроме экспресс-методов используют анализ вытяжек из свежевзятых или зафиксированных высушенных проб растений. При тканевой диагностике определяют минеральные формы питательных веществ, то есть резервы питания, еще не использованные растением на синтез органических соединений. Для правильной интерпретации результатов тканевой диагностики необходимо определять не менее трех основных компонентов питания: нитраты, фосфаты и калий.

Тканевую диагностику следует проводить несколько раз за период вегетации растений:

- начало кущения;

- стеблевание, начало трубкования;

- трубкование;

- цветение.

Для этой цели можно использовать достаточно надежный экспресс- метод, разработанный В.В. Церлинг. С помощью этого метода можно быстро определить в баллах содержание азота, фосфора и калия и рассчитать дозы необходимых подкормок. При этом можно ограничиться анализом лишь той части растения, где искомое вещество локализуется в наибольших количествах. Так, у зерновых культур для анализа берут следующие части растений:

- в фазу кущения – всю надземную часть;

- в фазу трубкования – пятый лист снизу;

- в фазу колошения – «флаговый» лист и лист, находящийся на один ярус ниже;

- в фазу цветения – молодые листья боковых побегов.

Диагностический признак - если в этих частях содержание элемента минимальное, то это указывает на необходимость усиления соответствующего питания.

**Функциональная диагностика** позволяет оценить не столько содержание того или иного элемента, а именно потребность растений в нем. Обеспеченность элементами питания можно установить, контролируя интенсивность физиолого-биохимических процессов, например, фотохимической активности хлоропластов. Метод основан на измерении фотохимической активности суспензии хлоропластов пробы листьев диагностируемых растений с добавлением элемента питания. Повышение фотохимической активности суспензии хлоропластов по сравнению с контролем (без добавления элемента питания) дает основание для заключения о недостатке элемента, снижение - об избытке, при равной активности - об оптимальной концентрации в питательной среде.

Метод позволяет оперативно определять потребность растений в 10-15 макро- и микроэлементах питания и учесть эти оценки в рекомендациях по проведению корневых и некорневых подкормок растений.

Для рационального и эффективного применения удобрений знания количественных и качественных индексов потребности растений в элементах питания недостаточно. Они должны быть приведены в строгое соответствие с факторами внешней среды, характерными для данной зоны обитания.

Известно что один и тот же сорт предъявляет неодинаковые требования к минеральному питанию в различных почвенно-климатических условиях. Отсюда вытекает важность региональных исследований, уточняющих, конкретизирующих принципиально решенные вопросы регулирования качества и уровня минерального питания сельскохозяйственных культур.

Для получения запланированного урожая необходимо знать количественные индексы потребности растения в онтогенезе и индексы степени плодородия почвы, возможные коэффициенты использования питательных веществ из почвы и вносимых удобрений, а также обеспеченность растений водой.

Потребности растений в минеральном питании необходимо устанавливать в зависимости от стадии развития растений, то есть с учетом ритмичности питания, которая согласуется с общей ритмичностью роста организма. В течение вегетации содержание и соотношение отдельных элементов в органах растений изменяется. Потребление их возрастает примерно до конца цветения, достигая наибольшей величины в период интенсивного роста. Так, растения кукурузы больше всего потребляют калия в молодом возрасте, к моменту выбрасывания метелок процесс сокращается почти вдвое и сходит на нет к концу вегетационного периода. Потребление азота увеличивается по мере нарастания фитомассы и достигает максимума в период цветения и оплодотворения. Фосфора кукуруза накапливает меньше, чем азота и калия, его содержание в тканях растения постепенно возрастет до цветения.

Иные закономерности характерны для питании озимой пшеницы. Озимая пшеница усиленно потребляет азот во время отрастания; перед выходом в трубку потребность в нем падает и вновь повышается в период образования семян. Калий потребляется пшеницей в больших количествах осенью, весной потребность в нем снижается, возрастая вновь в фазу выхода в трубку. К концу вегетации потребление калия сокращается. Фосфора поглощается озимой пшеницей довольно равномерно в течение всего вегетационного периода.

Потребление азота яровой пшеницей протекает наиболее интенсивно в два периода: от начала вегетации до кущения и от кущения до колошения растений. В последующий период поступление его в растения замедлялось. Усиление азотного питания пшеницы не только увеличивало количество потребляемого растениями элемента, но и значительно повышало интенсивность его использования. Фосфор на протяжении всего периода ее вегетации потребляется значительно меньше, чем азот. Потребление фосфора растениями происходило наиболее интенсивно от кущения до колошения и в период от колошения до молочной спелости. Заметное количество фосфора потребляет пшеница и в ранний период до кущения. Потребление калия яровой пшеницей было самым интенсивным в ранний период вегетации. Уже в фазу кущения его содержание составляло примерно 30% от максимума, который был отмечен в фазу колошения. В последующий период до полной спелости содержание калия в растениях значительно снижалось. Этот факт связан с частичной потерей отмирающих органов растений, выщелачиванием калия атмосферными осадками и оттоком его в почву через корневую систему.

Динамика поглощения питательных веществ льном-долгунцом имеет четко выраженный максимум. От всходов до бутонизации лен растет медленно и накапливает в фитомассе: азота – 30%, фосфора – 20%, калия – 30% от максимума. В молодом возрасте лен особенно чувствителен к недостатку фосфора, хотя заметно страдает при нехватке азота и калия. Критический период питания азотом – от фазы «елочки» до бутонизации. Однако избыток азота в это время отрицательно влияет на качество волокна и снижает устойчивость растений к полеганию. Максимальное количество питательных веществ лен потребляет в период бутонизации и цветения (60- 65%) за короткий промежуток времени.

Потребление питательных элементов овощными культурами имеет свои особенности, но, как правило, согласуется с динамикой нарастания сухой массы.

Зная количество того или иного элемента, необходимое для создания высокого урожая определенной культуры, динамику потребления питательных веществ растениями, можно на физиологической основе определить дозы, способы и сроки внесения удобрений. Более полное и равномерное удовлетворение потребностей растений в элементах минерального питания может быть достигнуто при сочетании способов внесения (припосевного, основного, подкормок), глубины заделки удобрений, кратности внесения подкормки, расчетного или рекомендуемого количества удобрений. Подкормки, в свою очередь, приурочиваются к основным этапам вегетационного и генеративного развития растений.

Важным физиологическим аспектом эффективного применения удобрений является также учет ростовых реакций растения и его органов на изменение концентрации того или иного элемента в почвенном растворе. Способствовать более полному использованию питательных веществ из почвы и вносимых удобрений можно прямым путем, применяя регуляторы роста и развития растений. Они стимулируют рост корневой системы, повышают устойчивость к полеганию и, следовательно, косвенно повышают коэффициент использования питательных веществ.

Понимание теоретических аспектов физиологии минерального питания, которые должны предшествовать выбору приемов использования удобрений и выбору сочетаний с другими средствами химизации.

**Учет микробиологических аспектов применения удобрений**

При разработке рекомендаций рационального применения удобрений необходимо учитывать микробиологические превращения в почве питательных веществ.

Одной из важнейших задач земледелия в любой сельскохозяйственной зоне является обеспечение культурных растений азотом. Наиболее существенным источником азота являются органические и минеральные удобрения, а также фиксация атмосферного азота симбиотическими и свободноживущими микроорганизмами. Азот органических удобрений становится доступным для сельскохозяйственных культур после минерализации азотсодержащих соединений в почве, т.е. в результате двух микробиологических процессов: аммонификации и нитрификации. Процесс аммонификации характеризуется как разложение органических азотсодержащих веществ, сопровождающееся освобождением азота в виде аммиака.

Трансформация белковых веществ начинается с расщепления протеиназами сложной белковой молекулы до пептонов и полипептидов. В дальнейшем идет гидролиз этих дериватов белка до аминокислот, катализаторами в данном случае являются пептидазы. Затем имеет место процесс дезаминирование аминокислот дезаминазами, что приводит к освобождению аммиака и углеродного радикала аминокислоты. В результате аммонификации в аэробных условиях от сложной белковой молекулы остаются вода, углекислый газ, аммиак, сульфаты, а от нуклеопротеидов – фосфатные компоненты. При недостатке кислорода в среде, кроме NH3 и CO2, накапливаются восстановленные соединения: сероводород, меркаптаны, органические кислоты, углеводороды, амины, индол и скатол, многие из которых токсичны. Аммонифицирующая микрофлора подзолистых и дерново-подзолистых почв многочисленна и разнообразна. Активность аммонифицирующей микрофлоры в почве зависит от наличия и качественного состава соединений, служащих аммонифицирующим микроорганизмам источником энергии, углеродного и азотного питания.

Количество аммиака, освобождающегося в результате аммонификации, определяется не только запасом в почве органического азота, но и его качественным составом, в первую очередь, содержанием в нем углерода и азота. Так, если соотношение С:N шире, чем 20:1, то выделения аммиака при разложении такого азотсодержащего органического вещества не происходит. Не выделяется также аммиак при наличии в почве безазотистых соединений, которые могут служить источником углерода и энергии для микрофлоры.

Интенсивность в почве любого микробиологического процесса, в том числе и аммонификационного, определяется не только наличием и качественным составом энергетического материала для микроорганизмов, но и разносторонним влиянием на их жизнедеятельность условий среды. Большинство почвенных бактерий, плесневых грибов и актиномицетов относят к мезофиллам, имеющим крайние температурные точки развития от 3 до 450С при оптимуме в 20-400С. Развитие большинства почвенных грибов возможно при температуре ниже 00С. Практически разложение органических остатков в почве приостанавливается при +50С.

Для интенсивного течения процессов минерализации азотсодержащих соединений в почве наиболее благоприятно содержание в ней влаги, соответствующее 60% от полной влагоемкости. Плесневые грибы и актиномицеты более ксерофильны. Усиленное развитие их наблюдается при влажности почвы в 12-20% от полной влагоемкости. Минимум влажности для жизнедеятельности большинства почвенных микроорганизмов не превышает полуторной-двойной максимальной гигроскопичности почвы. Наиболее устойчивы к недостатку влаги плесневые грибы и актиномицеты.

Процесс аммонификации они могут осуществлять при запасах влаги, не превышающих максимальную гигроскопичную влажность почвы.

Сильное воздействие на процессы трансформации азота оказывает аэрация почвы. Несмотря на то, что среди аммонификаторов встречаются не только аэробы, но и аэробы как факультативные, так и облигатные, при хорошей аэрации почвы процесс аммонификации отличается повышенной интенсивностью и полным окислением промежуточных продуктов гидролиза белков. Особенно резко реагирует микрофлора на ухудшение аэрации в очагах почвы с высоким содержанием органического азота, например, в зонах разложения навоза.

Для трансформации азота большое значение имеет кислотность почвы. В кислых почвах в процессах разложения безазотистых и азотсодержащих органических веществ возрастает роль плесневых грибов, а в нейтральных – бактерий. В то же время подщелачивание почвы в очагах интенсивной аммонификации может несколько снизить активность некоторых групп аммонифицирующей микрофлоры. Другая отрицательная сторона подщелачивания – усиление улетучивания аммиака.

Аммиак, освобождающийся при разложении органических азотсодержащих веществ, вовлекается в дальнейший круговорот. Он адсорбируется и фиксируется почвой, поглощается ее биотой и растениями, может частично улетучиваться в атмосферу, а также подвергается нитрификации – второй ступени минерализационного процесса. Процесс нитрификации представляет собой окисление аммонийного азота в нитратный. Первая фаза нитрификации – окисление аммиака в нитрит выполняют бактерии рода *Nitrosomonas*, *Nitrosocystis*, *Nitrosospira*, а вторую фазу – окисление нитрита в нитрат – проводят нитратные бактерии рода: *Nitrobacter, Nitrospira*.

Нитрификации подвергаются и аммиачные формы минеральных удобрений. Скорость нитрификации аммиачных удобрений в сильной степени зависит от свойств почвы. По многочисленным данным, нитрификация на хорошо окультуренных почвах протекает значительно энергичнее, чем на слабоокультуренных. Нормальное течение процесса нитрификации возможно в интервале от 10 до 330С.

Нитрифицирующие бактерии более чувствительны к понижению температуры, чем аммонификаторы. При высыхании почвы нитрификация прекращается раньше аммонификации.

На процесс нитрификации отрицательное влияние оказывает даже временное пребывание почвы в анаэробных условиях, в условиях переувлажнения, особенно на тяжелых почвах. Нитрифицирующие бактерии являются облигатными аэробами и отличаются исключительно высокой потребностью в кислороде. При затруднении аэрации процесс приостанавливается на фазе образования нитритов. Уплотнение почвы снижает заселенность ее нитрифицирующими бактериями. Слабощелочная реакция почвы является наиболее благоприятной для нитрифицирующих бактерий, тем не менее, процесс нитрификации достаточно энергично проходит в почве при рН от 5,0 до 8,5.

Различные формы аммиачных удобрений нитрифицируются с неодинаковой скоростью: наиболее интенсивно нитрификация происходит при внесении аммиачной воды, так же быстро протекает превращение карбамида и аммиачной селитры, несколько медленнее нитрифицируется сульфат аммония и фосфаты аммония, еще медленней хлористый аммоний, что, по всей вероятности, связано с токсическим действием иона хлора на нитрифицирующие бактерии.

Для уменьшения потерь азота из почвы и повышения эффективности азотных удобрений предложено использовать ингибиторы нитрификации. Ингибиторы, подавляя нитрификацию азота, снижают его потери за счет вымывания нитратов, а также миграцию нитратов по профилю почвы и значительно повышают эффективность азотных удобрений.

При бурном развитии почвенные микроорганизмы потребляют минеральные соединения азота и переводят азот в белок плазмы. Происходит иммобилизация азота, т.е. перевод минеральных форм азота в органические соединения. Иммобилизацию минерального азота осуществляют все микроорганизмы, способные усваивать аммиачный и нитратный азот. Главную роль в этом играют гетеротрофы: плесневые грибы, целлюлозоразрушающие бактерии, неспороносная микрофлора, обильно населяющая не только почву вдали от корней, но и ризосферу.

Автотрофная микрофлора, создающая белок своих клеток за счет энергии хемосинтеза, немногочисленна и составляет незначительную часть микробной биомассы почвы. Иммобилизация имеет место при внесении в почву органических соединений с соотношением С:N большим, чем 1:20. Если в почву попадают вещества с более узким соотношением С:N, то наблюдается накопление минеральных форм азота, т.е. мобилизация азота. Удобрение почвы бедными азотом растительными остатками (например, соломой) ухудшает азотное питание растений. Их можно вносить в почву с азотными удобрениями.

Рекомендуется на каждую тонну соломы давать от 7 до 15 кг азота. Микрофлора, иммобилизирующая минеральный азот, развивается в широком диапазоне температур (от 4 до 250 С) и влажности почвы (60-80% ПВ) и может обострять дефицит азота в условиях, неблагоприятных для растений.

Процесс нитрификации в почве зачастую сопровождается процессом денитрификации, в ходе которого нитраты и нитриты восстанавливаются до окислов азота или молекулярного азота. Нитраты отдают свой кислород не сразу, и их восстановление протекает как многоступенчатый процесс:

**HNO3 –≥ HNO2 ––≥ HNO ––≥ N2 O ––≥ N2**.

Интенсивность денитрификации значительно возрастает при внесении высоких доз азотных удобрений и в уплотненных или переувлажненных почвах. Один из важнейших источников пополнения азотного фонда пахотных почв – биологическая фиксация молекулярного азота атмосферы, который находится в недоступной для высших растений форме.

Практическое значение в обогащении почв азотом за счет усвоения его из атмосферы имеют следующие группы почвенных микроорганизмов:

-клубеньковые бактерии, фиксирующие молекулярный азот в симбиозе с бобовыми растениями;

-широко распространенные в почвах свободноживущие азотфиксирующие бактерии;

-микроорганизмы, способные усваивать молекулярный азот в ассоциациях с корневой системой небобовых растений.

Самый высокий уровень накопления азота отмечен у многолетних бобовых трав – люцерны, клевера, причем люцерна может накопить в урожае за один год 3-6 ц азота на 1 га. Однолетние бобовые в связи с коротким вегетационным периодом и непродолжительным сроком продуктивной азотфиксации накапливают меньше азота – 50-60 кг/га.

Многочисленные исследования показали, что отдельные штаммы клубеньковых бактерий отличаются по способности ассимилировать молекулярный азот в симбиозе с растением. В почве имеются активные, малоактивные и неактивные штаммы. Искусственное заражение (инокуляция) бобовых растений активными клубеньковыми бактериями способствует усиленной фиксации азота. Использование нитрагина – препарата, содержащего специально отселекционированные активные штаммы клубеньковых бактерий, – широко распространено в агрохимической практике. К основным приемам возделывания бобовых культур относятся: обязательное применение фосфорно-калийных удобрений, известкование кислых почв, обработка семян растворами микроэлементов.

Проблема рационального фосфорного питания остается одной из самых острых в земледелии. Коэффициент использования фосфорных удобрений сельскохозяйственными растениями не превышает 25%, подавляющее количество его фиксируется почвой, превращаясь в труднодоступные для растений формы.

Одно из направлений в решении проблемы фосфора – использование почвенных микроорганизмов для повышения усвояемости растениями фосфора почв и удобрений. В круговороте фосфора почвенная микрофлора играет важную роль. Она осуществляет растворение минеральных и органических фосфатов: ферментативное разложение органических фосфорных соединений; потребление доступного фосфора и закрепление его в микробной массе. Способность к растворению минеральных фосфатов широко распространена среди представителей почвенной микрофлоры. Микробиологическая мобилизация фосфора органических соединений протекает в две фазы. Первая фаза – растворение фитатов кальция, железа, алюминия осуществляется, в основном, бактериями и микроскопическими грибами. Вторая фаза – ферментативный гидролиз водорастворимых фитатов с высвобождением ортофосфата - протекает при активном участии *Agrobacterium* и *Fusarium*. В улучшении фосфорного питания значительную роль играют эндомикозные грибы, способные образовывать везикулярно- абрискулярные микоризы (ВАМ) с высшими растениями.

Инокуляция растений эффективными эндомикоризными грибами повышает урожай многих сельскохозяйственных культур за счет усиления поступления в них фосфора из почвы, а при определенных условиях и из некоторых видов фосфорных удобрений. Калий в почве находится, в основном, в алюмосиликатных минералах. Разрушение алюмосиликатов происходит под влиянием разных кислот и углекислоты, образуемых микроорганизмами.

Таким образом, микроорганизмы играют большую роль в трансформации питательных элементов органических и минеральных удобрений, а, следовательно, в изменении их эффективности при возделывании сельскохозяйственных культур. Уровень численности и биохимическая активность почвенных микроорганизмов характеризуют условия обеспечения растений и микроорганизмов пищей.

**Сочетание органических и минеральных удобрений**

Органическим удобрениям принадлежит важная роль в увеличении урожайности сельскохозяйственных культур, а также в сохранении и повышении плодородия почв. Органические удобрения не только снабжают растения необходимыми биогенными элементами, но и оказывают многофакторное воздействие на структурные, водно-физические и физико-химические свойства почвы, на ее биологическую активность.

При размещении удобрений в полях севооборота важно правильно сочетать применение органических и минеральных удобрений.

Опыты показывают, что при совместном внесении половинных норм навоза и минеральных удобрений, как правило, получают более высокие прибавки урожая, чем при раздельном внесении полной нормы каждого из этих удобрений. Особенно эффективно совместное внесение органических и минеральных удобрений на песчаных и супесчаных почвах, слабоокультуренных суглинистых дерново-подзолистых, серых лесных и выщелоченных черноземах.

Органических удобрений в хозяйстве обычно бывает недостаточно для внесения на все поля севооборотов. Поэтому их прежде всего необходимо вносить совместно с минеральными удобрениями под овощные культуры, картофель, кормовые корнеплоды, силосные культуры, а из зерновых - в первую очередь под озимые культуры. Пропашные культуры дают более высокие прибавки урожая на каждую тонну внесенных органических удобрений. Органические удобрения, внесенные под пропашные и озимые культуры, будут оказывать последействие на все остальные культуры севооборота, под которые вносят только минеральные удобрения. При наличии в хозяйстве специализированных прифермских и овощных севооборотов их обеспечивают органическими удобрениями в первую очередь.

Комбинированная система удобрения, при которой сочетается применение органических и минеральных удобрений, является наиболее распространенной. При наличии крупного животноводческого комплекса в хозяйстве особое внимание следует уделить разработке системы удобрения в кормовых севооборотах с максимальным насыщением бесподстилочным навозом, но которая должна предусматривать корректировку соотношения питательных веществ с помощью минеральных удобрений.

В то же время значительная удаленность полей отдельных севооборотов от ферм или ограниченное количество органических удобрений в хозяйстве для пополнения запаса органического вещества в почве целесообразны посев промежуточных культур на зеленое удобрение и запашка соломы (с внесением небольших доз азотных удобрений для создания оптимального соотношения С:N).

**Особенности применения и эффективности**

**комплексных удобрений**

Действие комплексных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур определяется многими факторами, в том числе:

- соотношением питательных веществ (N, Р, К) в удобрении;

- формами компонентов азота, фосфора и калия, входящих в состав сложных и комплексных удобрений;

- комплексом агротехнических приемов, на фоне которых используются сложные удобрения.

Все эти факторы тесно взаимосвязаны. Например, на дерново-подзолистых почвах цитратно-растворимая форма фосфатов при прямом действии и последействии также доступна растениям, как и водорастворимая, а на черноземах, каштановых почвах и сероземах более доступна водорастворимая форма.

В лесолуговой и лесостепной зонах на дерново-подзолистых почвах и черноземах трех- и двухкомпонентные удобрения (азофоска, аммофос и диаммофос) в посевах зерновых, сахарной свеклы, льна и картофеля при основном внесении по эффективности близки смесям односторонних удобрений, а в ряде случаев и превосходят их.

В степной зоне (черноземы обыкновенные, карбонатные, южные) эффективность сложных удобрений ниже, чем в лесолуговой зоне, где более влажно.

На каштановых почвах орошение значительно повышает эффективность удобрений, в том числе и сложных. На зерновых культурах, кукурузе действие двух- и трехкомпонентных сложных удобрений эффективнее смесей простых удобрений.

В условиях возделывания риса как затопляемой культуры эффективность сложных удобрений, содержащих нитратные формы азота, ниже эффективности смесей удобрений, содержащих азот в аммиачной или амидной форме.

Сложные удобрения весьма эффективны при припосевном их внесении под зерновые, технические, силосные культуры и однолетние травы.

Биологические особенности сельскохозяйственных культур и большое разнообразие почв обусловливают необходимость иметь сложные удобрения с различным соотношением в них азота, фосфора и калия.

На дерново-подзолистых почвах эффективность фосфорных и калийных удобрений при внесении их осенью и весной примерно одинакова. Более высокое положительное действие азотных удобрений отмечено при их внесении весной по сравнению с осенью. В последнем случае азот, особенно в нитратной форме, за зимне-весенний период вымывается в нижележащие слои почвы, что приводит к азотному голоданию озимых и яровых культур весной. Поэтому на рыхло-песчаных почвах все формы комплексных удобрений и эквивалентные смеси простых удобрений при внесении в полной дозе с осени малоэффективны. Снижение эффективности комплексных и простых удобрений на этих почвах объясняется потерей азота из-за миграции его по профилю почвы, а эффективность фосфорного компонента одинакова при внесении удобрений как осенью, так и весной.

Таким образом, на дерново-подзолистых почвах сложные удобрения с преобладанием фосфора и калия над азотом при осеннем их внесении под озимые (пшеницу и рожь) и яровые (ячмень) и внесении азота (до полной дозы) весной более эффективны по сравнению со всей дозой удобрений, внесенной осенью, и с выровненным соотношением питательных веществ.

 В зоне достаточного увлажнения, особенно на легких дерново- подзолистых почвах, рекомендуется применение осенью комплексных удобрений с меньшим содержанием азота и преобладанием фосфора (1:2:2, 1:2:1, 1:4:0) с последующим внесением дополнительного азота до оптимального содержания весной. На этих почвах под яровые культуры внесение азотных удобрений более эффективно весной. На выщелоченных черноземах и дерново-подзолистых глинистых почвах разовое внесение всей дозы сложных и смесей простых удобрений часто не уступает дробному внесению в процессе вегетации растений.

Полифосфатные удобрения (полифосфат аммония, калия, кальция и метафосфаты калия) по эффективности не уступают стандартным удобрениям на ортофосфатной основе и поэтому могут применяться под многие сельскохозяйственные культуры в различных почвенно-климатических условиях.

За последние 30 лет установлены закономерности в действии ЖКУ в зависимости от фосфорного и азотного компонентов, типа почвы и других условий. При использовании ЖКУ на кислой, активно фиксирующей фосфор почве при низком исходном фосфатном уровне, а также на бедных кислых почвах дерново-подзолистого типа действие ЖКУ слабее, чем гранулированных форм. Обычно это отмечается при применении ЖКУ, содержащего азот, фосфор и калий в соотношении, близком к 1:1:1, и дополнительном азотном компоненте (нитрат аммония). Если же применяется ЖКУ с соотношением N:Р205-1:3,5 снижения действия фосфатного компонента на кислой дерново-подзолистой почве не наблюдается. На известкованной дерново-подзолистой почве и черноземах эффективность ЖКУ и гранулированных удобрений примерно одинакова. На карбонатных почвах со щелочной реакцией (карбонатные черноземы, каштановые почвы, сероземы) агрохимическая ценность жидких форм, как правило, выше, чем твердых гранулированных. На кислой дерново-подзолистой почве происходит кратковременное снижение содержания легкоподвижного фосфора при внесении раствора, что связано с большей фиксацией фосфатов полуторными окислами. На черноземе этого не наблюдается.

Эффективность ЖКУ определяется не только входящим в его состав фосфорным, но и азотным компонентом. Так, ЖКУ в сочетании с нитратом аммония на кислой дерново-подзолистой почве менее эффективно, чем твердые гранулированные удобрения, а в сочетании с карбамидом - равноценно с твердыми удобрениями. На типичном черноземе со слабокислой реакцией форма азотного компонента не оказывает влияния на действие удобрения: эффективность растворов и гранулированных удобрений равноценна.

Качество продукции (зерна, картофеля, сена) при использовании жидких и твердых удобрений также примерно одинаково. Действие суспензированных удобрений полностью совпадает с действием соответствующих аналогов растворов ЖКУ и зависит от свойств азотного и фосфорного компонентов.

В ЖКУ на полифосфорной кислоте около половины фосфора находится в полиформе. Эффективность удобрений, содержащих полифосфаты, определяется наличием ортоформы, темпами гидролиза полифосфатов до ортоформы и свойствами соединений, которые образуются при внесении в почву полифосфатов.

На дерново-подзолистых почвах жидкие полифосфаты аммония формируют фосфатный режим в общем такой же, как и ортофосфаты. Они одинаково влияют на урожай в прямом действии и последействии. Известкование таких почв не меняет данной закономерности.

На типичном и выщелоченном черноземах действие жидких полифосфатов на зерновых культурах равноценно действию как жидких, так и гранулированных ортофосфатов.

На карбонатных черноземах ЖКУ марки 10-34 оказывали лучшее действие на урожай ряда сельскохозяйственных культур в сравнении с гранулированными фосфорсодержащими удобрениями. Это объясняется тем, что при внесении полифосфатов в почве длительное время сохраняется значительно большее количество легкоусвояемой ортоформы, формируется больший запас растворимых фосфатов, чем на фоне ортофосфорных удобрений.

Весьма эффективны полифосфаты с микроэлементами, введенными в состав раствора. На карбонатных почвах полифосфаты улучшают снабжение растений цинком.

Для поэтапного формирования запланированного уровня урожайности той или иной культуры сначала нужно составить модель ее посева (соотношение элементов продуктивности), реализация которой (с обязательной корректировкой в процессе вегетации) обеспечит достижение плановой урожайности. Полностью реализовать запрограммированную модель посева (урожая), разумеется, вряд ли возможно, поскольку каждый из элементов урожайности очень сильно варьирует в зависимости от постоянно меняющихся условий жизни растений. Тем не менее, такие модели имеют важное значение для определения оптимальных норм высева семян, а также для управления.

Накопленный за последние годы экспериментальный материал свидетельствует о существенных различиях в эффективности комплексных удобрений как по природно-экономическим зонам страны, так и по годам в пределах одной и той же зоны и на одних и тех же почвенных разностях.

Неадекватная эффективность комплексных удобрений, наряду с другими причинами, во многом объясняется тем, что при разработке основных параметров их применения (дозы, сроки и приемы внесения) не всегда учитываются такие факторы как потенциал продуктивности возделываемых сортов и гибридов полевых культур, взаимное влияние комплексного использования химических средств (удобрений, пестицидов, регуляторов роста и биопрепаратов), свойства почвы, погодные условия и другие. Так, в Географической сети опытов с удобрениями установлено, что с продвижением с запада на восток европейской территории России средние прибавки урожая зерновых от умеренных доз удобрений в одной и той же почвенной зоне составляют на западе 70%, на востоке 52%. Подобная закономерность наблюдается и по другим культурам. Уменьшение годового количества осадков от северных к южным районам европейской территории России на 100 мм вызывает снижение эффективности доз удобрений в среднем на 110 кг/га зерна для зерновых культур в целом и на 190 кг/га для озимых культур. Уменьшение запасов продуктивной влаги в почве за период вегетации зерновых культур на 10 мм снижает эффективность удобрений на 10—20 кг/га. Изменчивостью погодно-климатических условий объясняется от 30 до 65% колебаний эффективности удобрений. Влияние агрометеорологических условий на интенсивность продукционных процессов и эффективность удобрений в зоне неустойчивого и недостаточного увлажнения даже при высокой культуре земледелия является весьма существенным, и их учет необходим и экономически целесообразен.

В последние годы получили распространения специальные формы комплексных удобрений, обладающих полной водорастворимостью, таких как Aqua Drop - линейка водорастворимых комплексных удобрений, специально разработанная для фертигации плодовых и овощных культур открытого грунта. Широкий ассортимент марок в линейке Aqua Drop, благодаря оптимально подобранному соотношению основных элементов минерального питания, а также магния и микроэлементов, позволяет обеспечить растения полноценным минеральным питанием в течение всего периода вегетации овощных культур и плодово-ягодных насаждений (культур, при возделывание которых рекомендуется использовать капельный полив и фолиарные обработки).

К ним примыкает группа других полностью водорастворимых удобрений, таких как моноаммонийфосфат специальный водорастворимый МАФ 12:61:0 и комплексные удобрения SOLAR NPK micro Старт, Универсал и Финал.

Комплексное удобрение Старт содержит повышенное содержание фосфатов, магний и микроэлементы (марки 15:30:15+2MgО+МЭ, 11:40:11 +2MgО+МЭ, 13:40:13+МЭ). Специально подобранное соотношение NPK стимулирует на начальных этапах роста развитие корневой системы, повышает уровень усвоения питательных веществ, способствует улучшению процессов обмена веществ. Поэтому удобрение Старт рекомендуют к применению на овощных культурах и в плодоносящих садах.

Комплексное удобрение Универсал с выровненным соотношением питательных веществ (марки 18:18:18+ЗMgО+МЭ, 19:19:19+МЭ, 20:20:20+МЭ) обеспечивает правильное питание растений в течение всего вегетационного периода; особенно эффективно в периоды, когда растения испытывают стресс (засуха, переувлажнение, повреждение болезнями и вредителями и др.). Удобрение Универсал рекомендуют для использования в системах фертигации открытого грунта на почвах с низким содержанием доступных питательных веществ, а также в культивационных сооружениях защищенного грунта.

Полностью водорастворимое комплексное удобрение Финал с повышенным содержанием калия (марки 14:7:30+ЗMgО+МЭ, 15:7:30+ЗMgО+МЭ, 12:6:36+2.5MgО+МЭ) показало высокую эффективность при применении на финальных стадиях вегетации овощных и плодовых культур. Удобрение Финал способствует равномерному созреванию и интенсивному плодоношению, улучшает вкусовые качества, товарный вид и лежкость получаемой продукции.

**Химическая мелиорация**

В Российской Федерации площадь сельскохозяйственных угодий с повышенной кислотностью составляет около 50 млн. га, в том числе около 35 млн. га  - пашни. Большая часть кислых почв находится в Нечерноземной зоне. Кроме дерново-подзолистых почв, кислой реакцией характеризуются серые лесные, частично выщелоченные черноземы и торфяно-болотные почвы. Нейтрализация кислотности почв с помощью известкования является важнейшим условием интенсификации сельскохозяйственного производства, повышения плодородия кислых почв и эффективности применения минеральных удобрений.

Повышенная кислотность оказывает как прямое негативное влияние на физиологические процессы в клетках и тканях растений, так и косвен­ное - вследствие ухудшения агрохимических, агрофизических свойств почвы и снижения ее биологической активности. Повышенная кислотность дерново-подзолистых и серых лесных почв является основной причиной низкой продуктивности сельскохозяйственных угодий.

При сельскохозяйственном использовании земель подкисление почвы происходит более интенсивно, нежели в естественных травостоях вследствие отчуждения кальция и магния с урожаем, вымывания их за пределы корнеобитаемого слоя почвы и внесения физиологически кислых минеральных удобрений. В результате длительного выщелачивания оснований кислые почвы широко распространены в районах с промывным водным режимом почв. Кислая реакция почвы является одной из причин слабой устойчивости сельскохозяйственных культур к неблагоприятным внешним условиям, гибели посевов озимых зерновых культур и многолетних трав при перезимовке, низкого содержания белка в зерне и кормах, низкой эффективности минеральных удобрений.

Вынос Са и Mg сельскохозяйственными культурами варьирует в широком диапазоне и обусловливается, прежде всего, биологическими особенностями растений и величиной урожая. Например, зерновые культуры выносят с 1 т основной продукции ( с учетом побочной) 10-14 кг СаО и MgО, зернобобовые - 40-45 кг (табл.7).

Таблица 7.

**Вынос кальция и магния с урожаем основных**

**сельскохозяйственных культур**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Культура** | **СаО** | **MgO** | **Сумма****СаО и МgO** |
| **кг/т продукции** |
| Пшеница, рожь, ячмень, овес  | 6-8 | 5-7 | 11-15 |
| Гречиха | 16-18 | 7-9 | 22-26 |
| Горох, фасоль, нут, чина, соя | 30-35 | 8-10 | 40-45 |
| Лен-долгунец | 15-17 | 14-16 | 30-33 |
| Сахарная свекла (корнеплоды) | 2,2- 2,5 | 1,1-1,3 | 3,6-4,2 |
| Кормовые корнеплоды | 0,4-0,6 | 0,8-1,2 | 1,5 |
| Картофель (клубни) | 0,4-0,6 | 1,3-1,6 | 2,0 |
| Кормовой люпин (зеленая масса) | 2,6-3,0 | 1,5 | 4,1-4,4 |
| Клевер красный (сено) | 40-43 | 16-18 | 60 |
| Люцерна (сено) | 44-48 | 7-10 | 52-58 |
| Многолетние и однолетние травы (сено) | 27-30 | 10-12 | 38-42 |
| Капуста белокочанная | 1,3-1,5 | 0,8 | 2-2,5 |

Известкование кислых почв - наиболее эффективный способ улучшения условий азотного, фосфорного и калийного питания растений. После известкования равную по величине прибавку урожая сельскохозяйственных культур можно получать при меньших дозах удобрений. Оптимальная реакция среды позволяет получать хорошие урожаи (40-45 ц/га) зерновых культур при среднем уровне почвенного плодородия и средних дозах удобрений.

 По данным многолетних полевых опытов внесение 1 т СаСО3 в составе химических мелиорантов обеспечивает за ротацию 6-7-польного севооборота прибавки урожая сельскохозяйственных культур на уровне 6-8 ц/га зерновых единиц. Особенно велико значение известкования в хозяйствах, где применяется высокие дозы минеральных удобрений, в том числе и физиологически кислых..

Известкование оказывает многосторонне положительное действие на плодородие почв. Внесение известковых мелиорантов устраняет почвенную кислотность, повышает степень насыщенности почвы основаниями, увеличивает доступность растениям азота, фосфора и молибдена, снижает подвижность и негативное действие на растения алюминия и марганца, повышает биологическую активность почвы, улучшает агрофизические свойства почвы, что в совокупности обусловливает высокую урожайность и хорошее качество продукции. Прибавки урожая от известкования зависят от уровня кислотности почвы, био­логических особенностей культур и дозы известковых мелиорантов (табл.8) .

Таблица 8.

**Средние прибавки урожая основных сельскохозяйственных культур**

 **от известкования на дерново-подзолистых почвах, ц/га**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Культура** | **рНKCl** | **Доза СаСО3, т/га** |
| **2-4** | **4-6** | **6-8** | **более 8** |
| **Прибавки урожая, ц/га** |
|  | <4,5 | 4,0 | 5,1 | 5,9 | 6,6 |
| Озимая пшеница | 4,6-5,0 | 3,1 | 4,0 | 4,6 | 5,0 |
|  | 5,1-5,5 | 1,5 | 1,9 | 2,3 | 2,5 |
| Озимая рожь | <4,5 | 2,0 | 3,0 | 3,4 | 3,8 |
|  | 4,6-5,0 | 1,7 | 2,0 | 2,4 | 2,8 |
|  | 5,1-5,5 | 0,5 | 1,0 | 1,2 | 1,2 |
| Ячмень | <4,5 | 3,7 | 4,4 | 4,9 | 5,3 |
|  | 4,6-5,0 | 3,2 | 3,9 | 4.4 | 4,8 |
|  | 5,1-5,5 | 1,8 | 2,5 | 2,7 | 2,8 |
| Овес | <4,5 | 2,0 | 2,3 | 2.6 | 2,9 |
|  | 4,6-5,0 | 1,7 | 2,0 | 2,2 | 2,5 |
|  | 5,1-5,5 | 0,5 | 1,0 | 1,2 | 1,2 |
| Картофель | < 4,5 | 20 | 26 | 29 | 27 |
|  | 4,6-5,0 | 16 | 19 | 17 | 10 |
|  | 5,1-5,5 | 8 | 6 | 5 | - |
| Кормовая свекла | <4,5 | 65 | 96 | 1 24 | 1 45 |
| 4,6-5,0 | 36 | 58 | 70 | 80 |
| 5,1-5,5 | 23 | 38 | 55 | 55 |
| Кукуруза на силос | <4,5 | 40 | 65 | 78 | 85 |
| 4,6-5.0 | 24 | 36 | 45 | 47 |
| 5,1-5,5 | 15 | 25 | 30 | 25 |
| Однолетние травы(сено) | <4,5 | 12 | 14 | 16 | 16 |
| 4.6-5.0 | 6 | 8 | 10 | 10 |
| 5,1-5,5 | 5 | 8 | 8 | 8 |
| Многолетниетравы (сено) | <4,5 | 18 | 25 | 27 | 30 |
| 4,6-5,0 | 12 | 15 | 18 | 20 |
| 5,1-5,5 | 9 | 12 | 13 | 15 |

Для каждого вида сельскохозяйственных растений существует определенная наиболее благоприятная для его роста и развития реакция среды. Большинство сельскохозяйственных культур и полезных почвенных микроорганизмов предпочитают реакцию почвы, близкую к нейтральной (рН 6,5–7,5). По отношению к реакции среды и отзывчивости на известкование кислых почв сельскохозяйственные культуры можно подразделить на следующие группы.

К первой группе относятся наиболее чувствительные культуры, для которых оп­тимальной является слабощелочная (рНН2О - 7,0-8,0; рНKCl - 6,6 - 7,5) среда: сахар­ная, кормовая и столовая свекла, капуста белокочанная, люцерна, эспарцет, горчица, рапс, лук, перец и др. При возделывании этих культур на очень кислых почвах урожайность снижается в 2-3 раза и растения сильно поражаются болезням. Поэтому почвы, предназначенные для их возделывания следует известковать в первую очередь.

Ко второй группе относятся пшеница, ячмень, горох, клевер, вика, капуста, брюква, турнепс, салат, лук-порей, для которых наиболее благоприятной являемся реакция почвы близкая к нейтральной, оптимальное значение рНкс1 - 6,0-6,5. Они хорошо отзываются на известкование. Повышение кислотности почвы до рН 4,5-4,8 снижает урожайность этих культур в 1.5-2 раза.

В третью группу входят озимая рожь, овес, гречиха, тимофеевка, томаты, подсолнечник, морковь, тыква, кабачки, редька, репа, топинамбур и др. культуры, переносящие умеренную кислотность и щелочность почвы.

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

Для пятой группы культур (люпин желтый, козлятник, щавель, сераделла, чай и др.) оптимальное условия для роста и развития создаются при рНKCl 4,5-5,0. Они малочувствительны к повышенной кислотности и нуждаются в известковании только на очень сильнокислых (рНKCl < 4,2-4,4) почвах.

Несмотря на различное отношение растений к кислотности почвы, для большинства сельскохозяйственных культур при прорастании и в молодом возрасте требуется среда близкая к нейтральной - рНКС1 - 5,8 - 6,4 или рНН2О - 6,5-7,0. Такая реакция наиболее благоприятна для физиологических процессов роста, по­ступления питательных веществ в растения, внутрипочвенной трансформации элементов питания в доступную форму. При этом значении рН заметно снижается также содержание в почве токсичных для растений подвижных форм алюминия, железа и марганца.

Потребность почвы в известковании с достаточной для практических целей точностью может быть определена по показателю (рН солевой вытяжки), характеризующему обменную кислотность. При значении рН солевой вытяжки менее 4,5 потребность в известковании сильная, 4,5–5,0 — средняя, 5,0 - 5,5 - слабая и при рН более 5,5 - отсутствует. Почва имеет близкую к нейтральной реакцию и в известковании не нуждается.

Степень кислотности почвы - важный, но не единственный показатель, характеризующий потребность почв в известковании. Важно учитывать также степень насыщенности почвы основаниями (V)и ее гранулометрический состав. С учетом этих трех показателей определяют степень нуждаемости почв в известковании (табл.9).

 Таблица 9.

**Оценка степени нуждаемости в известковании
в зависимости от свойств почвы**

|  |  |
| --- | --- |
| **Почвы** | **Нуждаемость почв в известковании** |
| **сильная** | **средняя** | **слабая** | **отсутствует** |
| **рН** | **V, %** | **рН** | **V, %** | **рН** | **V, %** | **рН** | **V,%** |
| Тяжело- и среднесуглинистыеЛегкосуглинистыеСупесчаные и песчаныеЗаболоченные торфянистые и болотные | <4,5<4,5<4,5<3,5 | <50<40<35<35 | 4,5–5,04,0–5,04,5–5.03,5–4,2 | 50–6540–6035–5035–55 | 5,0–5,55,0–5,5 5,0–4,24,8 | 65–7560–7050–6055–65 | >5,5 >5,5 >5,5  >4,8 | >75>70>60>65 |

Известкование оказывает многостороннее положительное действие на агрохимические, биологические и агрофизические свойства почвы. После известкования кислотность почвы в течение 3-5 лет остается нейтральной или с заданным значением рН, а затем, в силу отчуждения Са и Mg с урожаем и выщелачивания осадками, происходит постепенное ее подкисление до исходного уровня и возникает необходимость повторного внесения извести. Периодичность известкования зависит от гранулометрического состава почв, количества осадков и уровня примене­ния удобрений. Чем выше уровень применения удобрений и урожайность сельскохозяйственных культур, тем интенсивнее происходит подкисление почвы и быстрее возникает необходимость повторного (поддерживающего) известкования.

Изменение реакции почвы оказывает значительное влияние на процессы трансформации макро- и микроэлементов в почве и это следует учитывать при разработке рекомендаций по применению минеральных удобрений. Известкование почв повышает подвижность молибдена, азота почвы и, напротив, значительно снижает доступность растениям В, Cu, Zn, Mn и Fе. Большое влияние на реакцию почвы оказывают минеральные и, прежде всего, азотные удобрения.

Известковые материалы обладают длительным действием. Полная доза известковых мелиорантов может оказывать положительное влияние на урожай сельскохозяйственных культур в течение 10–15 лет, половинная доза — 5–7 лет. С течением времени после после первичного известкования вновь происходит постепенное увеличение кислотности почвы (особенно быстро на малобуферных почвах и при систематическом применении физиологически кислых удобрений в высоких дозах) и возникает потребность в повторном (поддерживающем) известковании.

Определение необходимого количества известковых мелиорантов для доведения реакции почвы до заданного значения рН с учетом состава возделываемых культур при основном и поддерживающем (повторном) известковании проводят также с использованием норматива сдвига рН солевой вытяжки почвы под действием 1 т СаСО3, устанавливаемой экспериментально применительно к конкретным условиям. В этом случае дозу извести (т/га) рассчитывают по формуле:

.

Доказано, что наиболее существенно урожайность и использование азота удобрений возрастают при известковании сильнокислых и кислых почв до рНКС1 5,5, дальнейшее повышение рН не оказывало столь значительного действия. Позитивное влияние оказывает известкование на использование растениями азота почвы. Наиболее интенсивно минерализация почвенного азота и потребление его растениями происходит при доведении рНКСl до 6,8-7 внесением повышенных доз известковых мелиорантов. Наряду с азотом, известкование заметно повышает подвижность фосфатов почвы и доступность их растениям, при этом положительное действие извести продолжается много лет.

Снижение токсичности алюминия, марганца и железа при известковании и внесении фосфорных удобрений обусловлено улучшением физиологического состояния растений. Фосфорные удобрения существенно снижают, однако полностью не устраняют токсичность подвижного алюминия. При этом не только фосфат-ионы, но содержащийся в фосфорных удобрениях кальций играет важную роль для культур чувствительных к кислотности. Уровень содержания в почве подвижных фосфатов заметно влияет на оптимальный диапазон рН для роста растений. На слабо обеспеченных фосфором почвах наиболее высокая урожайность основных овощных и зерновых культур наблюдается при нейтральной реакции среды (рНКС1 6,5-7, а при хорошей обеспе­ченности растений фосфором интервал благоприятного значения рН расширяется от 5,4 до 8,0, однако наиболее высокие урожаи сельскохозяйственных культур получены при рН 5,9-6,2.

При известковании кислых почв необходимо соблюдать агроэкологические ограничения. Не допускаются:

* внесение известковых материалов всеми способами в почву на территории первого пояса зоны санитарной охраны источников хозяйственно-питьевого водоснабжения, а во втором поясе этой зоны — в период непосредственной угрозы паводка;
* внесение известковых материалов в почву менее чем через 72 ч после обработки хлорорганическими пестицидами;
* применение известковых материалов - отходов промышленности, в которых содержание тяжелых металлов, радионуклидов и других токсичных элементов (соединений) превышает допустимый санитарными нормами уровень.

**Гипсование солонцов**

Засоленные почвы разного генезиса занимают в нашей стране около 30 млн. га. Главный диагностический признак засоленных почв - наличие в почвенном профиле легкорастворимых солей в количестве, ухудшающем плодородие почв, отрицательно влияющем на рост и развитие сельскохозяйственных растений и снижающем эффективность удобрений. Засоленные почвы широко распространены в южных районах Поволжья, Западной и Восточной Сибири, Южного Урала и Северного Кавказа. Наличие большого количества обменного натрия в солонцах и высокая щелочность оказывают негативное влияние на водно-физические свойства почвы. Пестрота агрохимических, биологических, водно-физических свойств и плотности сложения почвы отдельных участков поля, при наличии большого количества пятен солонцов значительно затрудняет их освоение и использование.

Солонцы характеризуются низким естественным плодородием. Урожаи сельскохозяйственных культур на солонцовых землях очень низкие, но после гипсования почвы приобретают более благоприятные агрофизические свойства, вследствие чего повышается их плодородие.

Для химической мелиорации солонцов используют кальцийсодержащие соединения (гипс, фосфогипс, мел и их смеси).

Дозу гипса рассчитывают исходя из допустимого содержания обмен­ного натрия в ППК по формуле:

Д = 0,086 (К - 0,1 Т) \*Н\*d ,

где: Д - доза гипса, т/га;

0,086 - 1 мг-экв CaSO4∙2H2O;

К - содержание обменного натрия, мг-экв на 100 г поч­вы;

Т - емкость катионного обмена (ЕКО), мг-экв на 100 г почвы;

Н - глубина ме­лиорируемого слоя, см;

d — объемная масса мелиорируемого слоя, г/см .

Способы внесения гипса зависят от глубины залегания солонцового горизонта. В условиях степного богарного земледелия гипсование солонцов эффективно лишь в зоне с годовым количеством осадков более 400-450 мм. В сухостепной зоне, где среднегодовое количество осадков менее 300-350 мм химическая мелиорация солонцов эффективна только при орошении.

Солонцы и солонцеватые почвы встречаются обычно пятнами среди других почв. Если они занимают меньше 30% площади поля, то гипс вносят только на солонцовые пятна. Дозы гипса обычно составляет для хлоридно-сульфатных солонцов 4-6 т/га, для солонцов с содовым засолением - 8-10 т/га. Лучшим местом в севообороте для внесения гипса являются чистые пары и пропашные культуры. Внесение гипса рекомендуют проводить под зяблевую вспашку. При орошении доза гипса может быть уменьшена на 25–30%. Полную дозу его можно вносить в несколько приемов в течение 2–3 лет. Положительное влияние гипсования на плодородие почвы наблюдается в течение 8–10 лет, причем вследствие постепенного взаимодействия гипса с почвой эффективность его из года в год возрастает.

Гипс вносят не только для химической мелиорации солонцов, но и с целью улучшения питания растений кальцием и серой на других типах почв, прежде всего в Нечерноземной зоне. Гипс как удобрение вносят прежде всего под бобовые травы - клевер и люцерну, которые потребляют кальций и серу значительно больше, чем другие культуры. Положительное действие гипса на рост, развитие и урожайность растений на кислых почвах обусловлено не только улучшением питания кальцием и серой, но и повышением устойчивости растений к кислотности при увеличении концентрации кальция в почвенном растворе, улучшением доступности калия. Прибавки урожая клеверного сена от внесения гипса на дерново-подзолистых почвах составляют 0,7–1 т, на серых лесных почвах и выщелоченных черноземах - до 0,6–0,7 т/га.

По данным опытов зональных НИИ, гипсование без орошения в черноземной зоне повышает урожайность зерновых в среднем на 0,3–0,6 т, в зоне каштановых почв - на 0,2–0,3 т/га. При орошении эффективность гипсования выше. Значительно возрастает действие гипса при заделке его под глубокую перепашку с одновременным внесением навоза, компостов, применением зеленого удобрения. По данным Сибирского НИИ сельского хозяйства при гипсовании возрастает эффективность как органических, так иминеральных удобрений (табл.10.).

Таблица 10.

**Действие на урожай яровой пшеницы гипсования в сочетании с внесением органических и минеральных удобрений**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Варианты** | **Среднестолбчатые солонцы** | **Глубокостолбчатые солонцы** |
| **Урожай, т/га** | **Прибавка урожая, т/га** | **Урожай, т/га** | **Прибавка урожая, т/га** |
| Контроль Гипс 5 т + N60P60 Гипс 5 т + навоз 40 т Гипс 10 т + навоз 40 т | 0,170,951,541,21 | –0,781,371,04 | 0,451,261,621,86 | –0,811,171,41 |

**МЕЗОЭЛЕМЕНТЫ (сера, кальций, магний)**

При разработке системы минерального питания сельскохозяйственных культур в интенсивныъ агротехнологиях следует уделять особое внимание на мезоэлементы – кальций, магний и серу.

Кальций стимулирует рост растения и развитие корневой системы, усиливает обмен веществ, активирует ферменты и укрепляет клеточные стенки. Кальций - основной фактор, регулирующий ферментную активность в растениях, обеспечивающую поглощение других элементов питания (особенно азота).У зернобобовых кальций участвует в процессах транспорта сахаров и нейтрализации органических кислот.

Магний повышает интенсивность фотосинтеза и образование хлорофилла, влияет на окислительно-восстановительные процессы и активирует ферментативные процессы. Культуры, чувствительные к недостатку магния: зерновые, картофель, соя.

Сера участвует в азотном и белковом обменных процессах, входит в состав аминокислот, витаминов и растительных масел. Недостаток серы приводит к более слабому развитию растений и, как следствие, более низкому уровню урожайности. Сера необходима для роста и развития всех культур и потребляется растениями в количествах, эквивалентных количествам потребления азота. Это основной элемент для увеличения содержания белка и масла в сельскохозяйственных культурах. Применение удобрений, содержащих серу, повышает устойчивость к заболеваниям, низким температурам, засухе. Культуры, чувствительные к сере: масличные, зернобобовые, зерновые, овощные.

По содержанию и запасам кальция и магния и серы почвы России сильно различаются. При этом доступные растениям кальций и магний в обменно-поглощенном состоянии составляют подавляющую долю от суммы поглощенных почвой основных катионов, а их соотношение обычно составляет 4:1.

Таблица 11.

**Среднее валовое содержание кальция и магния**

**в различных типах почв**

|  |  |
| --- | --- |
| **Элемент** | **Почвы** |
| **подзолистые** | **серые лесные** | **черноземы** | **сероземы** |
| Кальций | 0,7% | 0,9% | 1,4% | 6,0% |
| Магний | 0,5% | 0,7% | 0,9% | 1,4% |

Недостаток кальция и магния проявляется чаще всего на кислых дерново-подзолистых и серых лесных почвах легкого гранулометрического состава, это обусловлено вымыванием этих элементов из пахотного слоя.

 Сера в почве находится в органической форме (85-90%) в составе гумуса, но становится доступной растениям только в сульфатной форме – в процессе минерализации органических соединений, протекающем с участием микроорганизмов. Большинство серых лесных, подзолистых и дерново-подзолистых почв относятся к низкообеспеченным серой почвам. Низкий запас серы имеют почвы легкого гранулометрического состава. Серой обеднены легкие почвы Нечерноземной зоны. Содержание серы возрастает с увеличением степени гумусированности. В тяжелосуглинистых черноземах валовое содержание серы может достигать 0,1 % от массы почв.

Среди биогенных элементов, играющих жизненно важную роль в питании сельскохозяйственных культур, сера занимает особое место. Хотя количество потребления ее растениями не столь велико по сравнению с азотом, фосфором и калием, ее значение для полноценного роста и развития культур трудно переоценить Достаточное обеспечение растений серным питанием – одно из условий получения высококачественных урожаев.

Отчуждение серы с урожаями сельскохозяйственных культур без соответствующего возмещения за счет внесения удобрений постепенно ведет к истощению почвенных запасов серы. Отзывчивость сельскохозяйственных культур на систематическое внесение серосодержащих удобрений наблюдается на многих типах почв.

Действие серных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур и качество продукции зависит от содержания серы в почве, плодородия почв, уровня удобренности, биологических особенностей культуры, условий погоды и других факторов.

Для определения обеспеченности почвы доступной для растений серой разработан целый блок аналитических методов почвенной и растительной диагностики. При недостатке серы в питании растений задерживается синтез белков, накапливается азот в небелковой форме или в форме нитратов. Растения прекращают рост и развитие, листья становятся светло-желтыми и даже белыми с красным оттенком, уменьшается их устойчивость к болезням, засухе и низким температурам. Реутилизацию серы, то есть ее перемещения из старых листьев в молодые, незначительна, поэтому при дефиците серы от хлороза первыми страдают молодые листья, а азота - старые, хотя оба элемента используются для построения белков. Особенно четко недостаток серы оказывается у растений семейства капустных. В бобовых культур снижаются жизнедеятельность клубеньковых бактерий и синтез хлорофилла. Если результаты почвенно-растительной диагностики свидетельствуют о недостатке серы, надо применять серосодержащие удобрения.

Сельскохозяйственные культуры содержат неодинаковое количество серы и, соответственно, имеют в ней различную потребность, обусловлено биологическими особенностями растений, фазой их развития, а также содержанием серы в почве и атмосфере. Так, с 1 т сена люцерны выносится 3,6 кг серы, сена клевера - 2,15 кг, зеленой массы кукурузы - 1,85, корнеплодов сахарной свеклы - 2,40 кг, капусты белокочанной - 11,20 кг. Больше серы усваивают растения из семейства капустных (капуста, рапс), лилейных (лук, чеснок), маревых (свекла), сложноцветных (подсолнечник), бобовых (люцерна, клевер, горох, соя), пасленовых (картофель, томаты). Потребность зерновых культур в сере невелика.

Применение различных серных удобрений способствует приросту урожая сельскохозяйственных культур: пшеницы, озимой - 2-4 ц/га, ржи озимой - 1,5-3 ц/га, ячменя ярового - 2-3 ц/га, сена клевера – 15 ц/га, картофеля – 30 ц/га. При этом улучшается качество продукции, в частности содержание белка в зерновых культур повышается на 1-2%.

Основным источником поступления серы в почву являются органические и минеральные удобрения. При применении серных удобрений следует учитывать содержание серы в растениях и соотношение N: S в протеине, по которому можно определить обеспеченность этим элементом. Критическое отношение N: S в зерне пшеницы - 14,8, клевера - 15,0-18,5.

К серосодержащим удобрениям относятся следующие формы удобрений:

- сульфат аммония (NH4)2SO4, массовая доля серы – 24 %.

- азотосульфат (селитра аммиачная с сульфатом аммония) – удобрение азотно-серное с различным соотношением азота и серы (в зависимости от марки). Рекомендовано к применению в основной внесение под кормовые, зерновые, крестоцветные и масличные культуры.

- сульфонитрат – удобрение азотное, серосодержащее с соотношением N:S=30–32:7–5. Рекомендовано к применению на всех типах почв под различные культуры в основное, припосевное внесение и подкормки.

- сульфоаммофос - сложное азотно-фосфорное и серосодержащее удобрение. Содержание азота – 14–20 %, фосфора – 20–34 %, серы – 8–14 %, присутствуют также кальций и магний. Удобрение рекомендовано к применению во всех приемах для всех культур и типов почв.

В этой же группе относятся сульфат магния и фосфогипс.

В зависимости от почвенно-климатических условий серные удобрения вносят под зяблевую обработку почвы или под предпосевную культивацию. При острой нехватке серы рекомендуют проводить некорневые подкормки 0,5-2% -ным водным раствором сульфатов.

Сроки и способы применения серосодержащих удобрений зависят от биологических особенностей культур:

- под озимые зерновые рекомендуется допосевное основное внесение;

- под яровые зерновые – внесение под предпосевную культивацию (основное внесение);

- под клевер – ранней весной по подрастающим растениям;

- под пропашные культуры рекомендовано как предпосевное, так и внесение в подкормку.

Действие серных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур и качество продукции зависит от содержания серы в почве, плодородия почв, уровня удобренности, биологических особенностей культуры, условий погоды и других факторов.

Сера в почве находится в органической форме (85-90%) в составе гумуса и 10-15% в минеральной (в форме сульфат-иона). Сера органических соединений почвы в результате микробиологической деятельности превращается в минеральную, доступную растениям. Процесс имеет сезонный характер с минимумом весной, максимумом летом, а к осени затухает. Высвобождение азота и серы идет в том же соотношении, в котором они находятся в гумусе и органических остатках.

Бобовые и крестоцветные не испытывают недостатка в сере при содержании в почве сульфатов более 11-14 мг/кг, злаковые – более 6 мг/кг.

При использовании серосодержащих удобрений следует учитывать критические уровни содержания серы в растениях и отношение N:S, по которому можно судить о недостатке серы. Критическое содержание серы в зерне пшеницы 0,17%, клубнях картофеля - 0,11, в люцерне - 0,2, в хлопчатнике в фазу бутонизации - 0,5%. Критическое отношение N:S в зерне пшеницы 14,8, ячменя - 13,1-16,4, в клевере - 15-18,5.

На эффективность серосодержащих удобрений оказывают влияние погодные условия, особенно в ранневесенний период. Прибавки от серы были выше в годы с низкими температурами весной и обильно выпадающими осадками, когда процессы сульфофикации замедлялись, а минеральные запасы серы промывались в нижние слои почвы и становились недоступными растениям. Поэтому ранней весной на всех дерново-подзолистых почвах минеральная (сульфатная) сера, как и минеральный азот, находится в дефиците. Независимо от содержания в почве общей серы все яровые культуры положительно отзываются на серные удобрения, внесенные перед посевом. Зимующие растения, особенно клевер, люцерна, хорошо отзываются на весенние подкормки серными удобрениями.

Фосфогипс существенно повышает урожаи таких интенсивных культур, как кукуруза, кормовая брюква, кормовая капуста, выносящих из почвы большое количество питательных веществ, в том числе и серы. Прибавки урожая от фосфогипса и других серных удобрений возрастают в годы с высокими урожаями культур и в годы с холодными веснами, когда сульфофикация замедляется и растениям недостает минеральной серы.

Важное значение имеют сроки и способы применения серных удобрений, которые зависят от биологических особенностей культуры: под озимые зерновые - допосевное внесение, под яровые зерновые - под предпосевную культивацию, под клевер - ранней весной по отрастающим растениям, пропашные культуры (турнепс, кормовая капуста, картофель) примерно одинаково реагируют на допосевное и послепосевное внесение серных удобрений.

Большинство сельскохозяйственных культур хорошо отзывается на серу на достаточно удобренном другими макроэлементами фоне при систематическом внесении в севообороте азотных, фосфорных и калийных удобрений.

При разработке системы удобрений необходимо учитывать обеспеченность растений не только серой, но и такими элементами как кальций и магний. Для этих случаев следует использовать специальные формы удобрений - кальцийазотофосфат и комплексные удобрения с магнием.

Магний является составной частью хлорофилла и необходим для образования вегетативных и репродуктивных органов растений. Большое количество его требуется во время цветения и образования семян. Он ока­зывает существенное влияние на масличность семян. Потребность в нем рапса составляет примерно 20-35 кг/га. Почвы, на которых получают высокие урожаи рапса, как правило, имеют достаточное модержание магния, однако необходимо систематически контролировать уровень его содержания в почве, так как высокая потребность в нем растений может привести к истощению, снижению урожая.

Низкая обеспеченность рапса магнием характерна для легких песчаных и супесчаных почв и, прежде всего, для зон с промывным водным режимом.

Дефицит Mg заметно усиливается при переувлажнении почвы, развитии анаэробных процессов и повышении кислотности. В зависимости от гранулометрического состава почвы для увеличения содержания в ней обменного Mg на 10 мг/кг необходимо сверх выноса растениями вносить с удобрениями 80-120 кг/га магния. Внесение магнийсодержащих удобрений на почвах с низким содержанием магния обеспечивает прибавку урожая семян до 5 ц/га, при среднем содержании - 2-3 ц/га.

Кальцийазотосульфат наряду с азотом в аммонийный и нитратный форме содержит также серу в сульфатной форме и кальций. Кальций способствует развитию корневой системы, стимулирует активность клубеньковых бактерий и мобилизацию запасных питательных веществ. Улучшает качество получаемой продукции (повышает содержание масла в масличных и белка в зерновых культурах) благодаря содержанию серы. Может применяться на всех почвах и подо все культуры. Наиболее эффективно в качестве подкормки для масличных, зерновых и кормовых культур, а также корнеплодов.

Комплексные NPK-удобрения с микроэлементами, входящие в линейку водорастворимых удобрений SOLAR NPK micro, обеспечивают качественное питание растений на всех стадиях роста. Главной особенностью их использования является содержание в химическом составе не только макро-(NPK), но и мезо- (магний) и микроэлементов. Комплексное удобрение «Старт» применяется на начальных этапах роста и развития сельскохозяйственных культур для стимуляции развития корневой системы, повышения уровня усвоения ей питательных веществ, формирования урожая, улучшения процессов обмена веществ, деления и размножения в растительных клетках. Комплексное удобрение «Финал» с высоким содержанием калия и магния в основном предназначен для использования на финальных стадиях вегетации. Применение данного продукта способствует повышению устойчивости полевых культур и овощей, возделываемых в открытом грунте, к условиям засухи в конце вегетации, равномерному созреванию, лучшему плодоношению, улучшению вкусовых качеств, товарного вида и лежкости овощной продукции. Для комплексного питания сельскохозяйственных культур на всех стадиях вегетации рекомендуется использовать удобрение «Универсал». Оно помогает своевременно ликвидировать последствия стресса и скорректировать питание растений.

**Микроудобрения**

Для увеличения производства и качества сельскохозяйственной продукции наряду с основными элементами минерального питания важное значение имеют микроэлементы. Функции каждого макро- и микроэлемента в растениях строго специфичны, ни один элемент не может быть заменен другим. Недостаток любого макро- или микроэлемента приводит к нарушению обмена веществ и физиологических процессов у растений, ухудшению их роста и развития, снижению урожая и его качества. При остром дефиците элементов питания у растений появляются характерные признаки голодания. Недостаток микроэлементов приводит не только к снижению урожая, вызывает ряд болезней у растений, а иногда и их гибель, но и снижает качество урожая. Микроэлементы являются активными центрами ферментов, улучшающими обмен веществ в растительных организмах.

 Марганец входит в состав ферментов растений и участвуют в в окислительно-восстановительных процессах. От недостатка этого микроэлемента заболевают хлорозом плодово-ягодные насаждения: яблоня, вишня, слива, малина, а из полевых культур – свекла, картофель, овес. Недостаток марганца наблюдается в песчаных и торфяно-болотных почвах. Считается, что 2 - 3 мг марганца на 1 кг почвы вполне достаточно для нормального роста и развития всех культур.

Бор участвует в образовании белков и комплексных соединений с углеводами и другими растительными веществами. При недостатке бора у растений опадают завязи, появляется пустоцвет, снижается урожай семян, сахарная свекла поражается гнилью.

Молибден необходим для образования белков в растениях, а также для поглощения азота из атмосферы азотфиксирующими бактериями. Применение удобрений, содержащих молибден, значительно повышает урожайность клевера, люцерны, сахарной свеклы, томата и других культур.

Медь способствует улучшению жизнедеятельности листьев, задерживает их старение. От недостатка меди растения заболевают хлорозом, не образуют семян, особенно страдают злаковые и бобовые, а яблоня и другие садовые деревья преждевременно сбрасывают листья. Медные удобрения необходимо применять на болотных торфяных почвах.

Цинк в небольших дозах необходимо для роста и развития растений. При его недостатке часто не образуются завязи, а на листьях появляются хлоротичные пятна. Почвы в основном обеспечены цинком, однако его недостаток в первую очередь ощущают плодовые деревья, а также полевые культуры – кукуруза, соя, фасоль.

Кобальт необходим для жизнедеятельности клубеньковых бактерий на корнях бобовых растений.

Вынос микроэлементов с урожаем сельскохозяйственных культур составляет лишь десятки или сотни граммов на 1 га и потребность во многих из них может полностью удовлетворяться за счет почвы и внесения органических удобрений, а нередко только за счет запасов микроэлементов в семенах (табл.12). Однако, у культур, более требовательных к наличию микроэлементов, может проявляться их недостаток на почвах с низким содержанием доступных для растений форм. Применение микроэлементов в виде соответствующих микроудобрений в этом случае может значительно повысить урожай сельскохозяйственных культур и улучшить качество получаемой продукции.

Таблица 12.

**Вынос микроэлементов с урожаями сельскохозяйственных культур**

|  |  |
| --- | --- |
| **Культуры** | **Содержание в 1 т продукции, г/т сухой массы** |
| **В** | **Cu** | **Zn** |
| Основнаяпродукция | Побочнаяпродукция | Основнаяпродукция | Побочнаяпродукция | Основнаяпродукция | Побочнаяпродукция |
| Озимая рожь | 2,0 | 3,1 | 3,9 | 3,0 | 30,4 | 28,0 |
| Озимая пшеница | 1,8 | 3,2 | 4,8 | 3,6 | 30,2 | 25,1 |
| Яровая пшеница | 2,3 | 3,1 | 5,6 | 5,2 | 21,4 | 21,6 |
| Ячмень | 2,7 | 4,2 | 5,0 | 4,1 | 26,3 | 21,6 |
| Овес | 2,3 | 3,5 | 5,1 | 5,0 | 24,2 | 20,6 |
| Гречиха | 2,8 | 11,5 | 1,8 | 2,9 | 26,2 | 24,1 |
| Горох | 4,7 | 19,7 | 6,0 | 5,7 | 33,0 | 23,4 |
| Вика | 5,2 | 7,2 | 5,2 | 5,8 | 33,0 | 18,7 |
| Люпин, зерно | 4,4 | 9,1 | 5,2 | 4,6 | 32,5 | 18,7 |
| Лен, солома | 10,0 | 8,1 | 10,1 | 14,6 | 5,0 | 21,7 |
| Картофель | 6,8 | 4,1 | 7,9 | 11,2 | 28,5 | 84,0 |
| Сахарная свекла | 14,5 | 22,9 | 5,5 | 4,8 | 50,0 | 60,0 |
| Кукуруза, зеленая масса | 3,5 | – | 5,3 | – | 26,3 | – |
| Многолетние злаковые травы, сено | 7,4 | – | 8,0 | – | 11,2 | – |
| Многолетние бобовые травы, сено | 11,6 | – | 5,6 |  | 11,4 | – |

Существуют три основных способа внесения микроудобрений:

- в почву с последующей заделкой,

- в виде некорневых подкормок,

- при предпосевной обработке семян.

Достичь оптимальных концентраций доступных для растений форм микроэлементов трудно в связи с вымыванием их из почвы или переходом в труднодоступное для растений состояние. Заданные оптимальные уровни содержания микроэлементов в почве создают только в тех случаях, когда почвы генетически бедны микроэлементами. Однако при этом нужно соблюдать осторожность, так как избыточное содержание микроэлементов оказывает отрицательное действие на урожай и качество сельскохозяйственной продукции.

Внесение микроэлементов в почву в виде удобрений предусматривается только на почвах с низкой обеспеченностью этими элементами питания. Наиболее активны микроэлементы в форме комплексных солей с органическими кислотами-комплексообразователями (хелатами). Хелаты микроэлементов водорастворимы, но диссоциации на ионы в водной среде обычно не происходит. Вследствие этого микроэлементы в хелатной форме, в отличие от минеральных солей, практически не закрепляются в почвенном поглощающем комплексе (ППК) и длительное время остаются доступными для растений.

Для среднеобеспеченных микроэлементами почв рекомендуются обработка семян и некорневые подкормки, на высокообеспеченных почвах или почвах с избыточным их содержанием микроэлементы не вносят. Выпуск форм минеральных удобрений с добавками микроэлементов позволяет более равномерно распределить их по удобряемой площади и сократить расходы на внесение.

Наиболее эффективным и экономически целесообразным способом применения микроудобрений является некорневая подкормка вегетирующих растений. При этом некорневые подкормки микроудобрениями рекомендуются на почвах первой и второй групп обеспеченности, однако во многих исследованиях положительный эффект от некорневого внесения микроудобрений отмечен и при третьей группе обеспеченности почвы микроэлементами. Дозы микроудобрений для почвенного внесения могут планироваться только в том случае, если по содержанию соответствующего элемента почва относится к первой группе обеспеченности. При содержании элементов в почве, соответствующей четвертой группе обеспеченности, внесение микроудобрений не предусматривается .

Для некорневых подкормок предназначены следующие основные микроудобрения: борная кислота, сульфат меди, сульфат цинка, сульфат марганца, молибдат аммония, сульфат кобальта, а также комплексные минеральные удобрения линейки SOLAR NPK micro (марки Универсал и Финал).

Внесение микроудобрений целесообразно совмещать с подкормками жидкими азотными удобрениями (КАС, аммиачная вода и т.д.), а также обработкой посевов средствами защиты и регуляторами роста. При этом требуемую дозу микроудобрений (исходя из объема опрыскивателя) следует растворить в отдельной емкости и влить его в раствор жидкого азотного удобрения, тщательно перемешав рабочий раствор.

Обработка семян микроэлементами является одним из элементов комплексной предпосевной подготовки семенного материала. Для этих целей используют сульфат цинка, борную кислоту, молибдат аммония. Обработку проводят одновременно с протравливанием. Для соблюдения санитарных требований при проведении этих работ, а также для повышения эффективности используемых средств семена обрабатывают с использованием пленкообразователей. В качестве последнего чаще всего применяют 2 % -ный раствор натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (полимер NaKMЦ).

При протравливании за два месяца до сева крупносеменных бобовых культур (люпин, горох, вика и др.) при влажности семян не более 12% расход NaKMЦ, составляет 10 л на 1 т семян; при предпосевной обработке и если влажность зерна выше 12 % – 15 л. При обработке мелкосеменных бобовых культур (клевер, люцерна и др.) расход раствораNаКМЦ составляет 2 л на 1 ц семян.

Предпосевная обработка семян микроэлементами, наряду с некорневой подкормкой, – эффективный и экономичный способ использования микроудобрений. Наиболее эффективна предпосевная обработка семенного материала комплексонатами железа, меди, кобальта, молибдена, марганца.

Борные удобрения применяют для сахарной свеклы, кормовых корнеплодов, льна, подсолнечника, зернобобовых культур. Для опудривания семян выпускается порошок на тальке, содержащий бор в виде борной кислоты. Положительное действие бора при предпосевном замачивании семян в растворе борной кислоты подтверждено для столовой свеклы и моркови на дерново-подзолистых почвах Ленинградской области. Применение бора при всех способах его внесения способствовало увеличению урожая корнеплодов моркови и свеклы на 11–50 ц/га. Одновременно повысилось содержание сахаров в корнях обеих культур и каротина в моркови.

Молибденовые удобрения. Для предпосевной обработки семян чаще всего используют молибдат аммония. Им обрабатывают семена гороха, вики, кормовых бобов, сои, люпина, клевера, люцерны, овощных культур. Кроме того, для предпосевной обработки семян применяется порошки, содержащие молибден. Сухое опудривание семян молибдатом аммония часто совмещают с сухим протравливанием пестицидами.

Медные удобрения. Для предпосевной обработки семян применяют медный купорос в виде 0,1–0,02%-ного раствора. Опыливание семян сульфатом меди проводят совместно с обработкой пестицидами. Для обработки семян кукурузы, зернобобовых и зерновых культур, льна, конопли, огурца и бахчевых, томата, капусты, многолетних трав применяют порошки, содержащие тонкоизмельченный медный купорос и технический тальк.

Цинковые удобрения. Для предпосевной обработки семян применяют сернокислый цинк, цинковые полиудобрения, а также порошки, содержащие цинк. Цинковыми удобрениями обрабатывают семена кукурузы, сахарной свеклы, огурца, бахчевых, томатов, капусты и некоторых других культур. Сернокислый цинк используют совместно с пестицидами. Предпосевное намачивание семян в растворе сульфата цинка благотворно влияет на многие культуры: урожай фасоли вырастает на 19–26 %; томатов – на 22,4 ц/га; кукурузы – на 5,6 ц/га. Одновременно улучшаются качественные характеристики урожая. Кроме того, снижается уровень заболеваемости томатов бурой пятнистостью, а у огурцов повышается устойчивость к галловой нематоде. Положительное действие предпосевной обработки цинком установлено при обработке семян озимой и яровой пшеницы, подсолнечника, озимого ячменя. Предпосевная обработка семян сахарной свеклы в сочетании с однократной внекорневой подкормкой на каштановых почв повысила урожайность корнеплода на 63 ц/га. Предпосадочная обработка цинком клубней картофеля увеличила урожайность на 29 %. Отмечено также повышение устойчивости картофеля к фитофторе и другим заболеваниям.

Марганцевые удобрения. Для предпосевной обработки семян применяют сульфат марганца (сернокислый марганец) или порошок, содержащий марганец, – механическую смесь тонкоизмельченного сухого сернокислого марганца и технического талька. При предпосевной обработке семян сульфат марганца в сочетании с внекорневой подкормкой в условиях закрытого грунта не только увеличивает урожайность томатов, но и повышает их сахаристость, содержание витамина C в плодах, снижает заболеваемость томатов бурой пятнистостью.

Кобальтовые удобрения. Для обработки семян кобальт используется в виде сульфата и хлорида кобальта. Отмечено, что опрыскивание семян льна перед посевом кобальтовыми удобрениями увеличило урожайность на 12-14 %, а льноволокна – на 10 %. В ходе полевых испытаний получены положительные результаты действия обработки семян кобальтом для клевера, ячменя, озимой ржи на известкованных дерново-подзолистых почвах. Положительное действие кобальта отмечается для сахарной свеклы, конопли, винограда в различных почвенных условиях.

В табл. 13 приведены рекомендуемые нормы расхода микроудобрений для обработки семянного материала.

Таблица 13.

**Рекомендуемые нормы расхода микроудобрений для обработки семенного материала**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Культуры** | **Сульфат****меди** | **Борная****кислота** | **Сульфат****цинка** | **Молибдат****аммония** |
| **г на 1 ц семян** |
| Зерновые | – | 20–40 | 80–100 | – |
| Зернобобовые | – | 20–30 | – | 15–20 |
| Сахарная и кормовая свекла | – | 150200 | 200–250 | – |
| Картофель (на 1 т) | 50–60 | 30–50 | 40–60 | – |
| Многолетние злаковые травы | 150–200 | – | – | – |
| Кукуруза | – | 20–40 | 80–100 | – |
| Лен | 100–200 | 100–150 | 150–200 | – |

Композиции микроэлементов для обработки семян

На практике нередко возникает необходимость в обработке семян несколькими микроэлементами. Для этой цели выпускаются различные композиции микроэлементов для обработки семян. Подобные смеси оказывают благотворное влияние на повышение качества посевного материала и развитие растений на всех фазах роста.

Некорневые подкормки микроудобрениями

Некорневые подкормки посевов микроудобрениямипроводят на почвах, слабо- и среднеобеспеченных микроэлементами. Для этого используют сульфат меди, сульфат цинка,борную кислоту, молибдат аммония,а также формы микроудобрений в хелатной и органо-минеральной форме. Некорневые подкормки продлевают жизнедеятельность листового аппарата растений, повышают содержание сухого вещества и крахмала в клубнях картофеля (особенно на участках с мощно развитой ботвой).

При выборе оптимального срока проведения некорневой подкормки учитывают не только биологические особенности потребности культуры, но и погодные условия, так как время поглощения растениями микроэлементов составляет от 1 – 2 дней. Не рекомендуется опрыскивание проводить на сырые или покрытые росой растения и в условиях интенсивного солнечного света. Некорневые подкормки микроэлементами лучше проводить в послеобеденное время или в пасмурную погоду.

При использовании микроудобрений с КАС следует учитывать, что растворы КАС могут вызывать появление ожогов на листьях, степень повреждения которых зависит от культуры, фазы ее развития, дозы удобрений и погодных условий. Наиболее широкое применение КАС с микроудобрениями получило при возделывании зерновых культур. Высокая влажность и интенсивная солнечная инсоляция неблагоприятны для внесения КАС.

При правильном применении микроудобрений с учетом их содержания в почве урожайность зерновых культур при использовании меди повышается на 2 – 4 ц/га, картофеля – на 30 – 55, сена многолетних бобовых трав и смесей – на 3 – 5ц/га. Борные удобрения повышают урожайность зернобобовых культур на 2 – 3 ц/га, сахарной и кормовой свеклы – на 30 – 40, картофеля – 25 – 30, семян бобовых культур на 0,5 ц/га. Прибавка урожая от использования цинковых удобрений под зерновые культуры составляет 1 – 2 ц/га, сахарной и кормовой свеклы – 25 – 30, картофеля – 15 – 20, льноволокна и семян – на 0,3 ц/га. Применение молибденовых удобрений повышает урожайность зернобобовых культур на 2,5 – 3,5 ц, сена многолетних бобовых и травосмесей – на 4 – 5 ц, семян бобовых трав – на 0,3 – 0,5 ц/га.

Считается, что фолиарное поглощение состоит из двух фаз – неметаболического проникновения через кутикулу, которое в целом рассматривается как главный путь поступления, и метаболических процессов, которыми объясняется накопление элементов, противоположное действию градиентов концентрации. Вторая группа процессов ответственна за перенос ионов через плазматические мембраны в протоплазму клеток. Микроэлементы, поглощённые листьями, могут переноситься в другие растительные ткани, включая и корни, где избыточное количество некоторых элементов может быть запасено. Скорость движения микроэлементов в тканях сильно изменяется в зависимости от органа растения, его возраста и природы элемента. Часть микроэлементов, захваченная листьями, может быть вымыта дождевой водой. Различия и эффективность вымывания различных микроэлементов могут быть сопоставлены с их функциональными или метаболическими связями.

В табл.14 приведены рекомендуемые дозы и способы применения микроэлементов под основные сельскохозяйственные культуры.

Таблица 14.

**Рекомендуемые дозы и способы применения микроэлементов под основные сельскохозяйственные культуры**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Культуры** | **Микро-элемент** | **Внесение в почву, кг/га д.в.** | **Предпосевная обработка семян и посадочного материала, г д.в. на 1 ц материала** | **Некорневая подкормка, г/га д.в.** |
| До посева | В рядки |
| Зерновые | B | - | 0.20 | 30-40 | 20-30 |
|  | Cu | 0,5-1,0 | 0,20 | .170-180 | 20-30 |
|  | Mn | 1,5-3,0 | 1,50 | 80-100 | 15-25 |
|  | Zn | 1,2-3,0 | - | 100-150 | 20-25 |
|  | Mo | 0,6 | 0,20 | 50-60 | 100-150 |
|  | Co | - | - | 40-50 | - |
| Свекла и кормовые корнеплоды | В | 0,5-0,8 | 0,15 | 120-160 | 25-35 |
|  | Си | 0,8-1,5 | 0,30 | 80-120 | 70 |
|  | Мп | 2,0 -5,0 | 0,50 | 90-100 | 20-25 |
|  | Zn | 1,2-3,0 | 0,50 | 140-150 | 55-65 |
|  | Со | 0,15-0,30 | 0,1 | 100-120 | 17-22 |
|  | Мо | 0,5 | 0,15 | 100-150 | 100-200 |
| Зернобобовые | В | 0,3-0,5 | - | 20-40 | 15-20 |
|  | Си | - | - | 120-160 | 20-25 |
|  | Мп | 1,5-3,0 | - | 100-120 | - |
|  | Zn | 2,5 | 0,50 | 80-100 | 17-22 |
|  | Co | 0,15-0,30 | - | 40-50 | 8-11 |
|  | Mo | 0,3-0,5 | 0,05 | 150-160 | 25-30 |
| Овощные культуры и картофель\* | В | 0,4-0,8 | - | 100-150 | - |
|  | Си | 0,8-1,5 | - | - | 20-25\* |
|  | Мп | 2,0-5,0 | - | 100-150 | - |
|  | Zn | 0,7-1,2 | - | - | - |
|  | Co | 0,15-0,3\* | - | - | 10-15\* |
|  | Mo | - | - | 80-100 | 150; 25-30\* |
| Кукуруза | В | - | 0,2 | 20-40 | 5-10 |
|  | Си | 3,0 | 0,5 | 120-140 | 20-30 |
|  | Мп | 2,0-4,0 | 1,5 | 50-60 | - |
|  | Zn | 1,0-3,0 | 1,5 | 150-200 | 17-22 |
|  | Co | - | - | 70-80 | 10-15 |
|  | Mo | 0,6 | 0,2 | 170-180 | 20-40 |
| Соя | В | 0,5 | 0,15 | 20-40 | 120 |
|  | Си | 2,0 | - | - | - |
|  | Мп | 2,5 | - | - | - |
|  | Zn | 1,0-3,0 | - | 130-180 | 10 |
|  | Co | 1,0 | - | - | - |
|  | Mo | 0,2-0,3 | 0,15 | 100-150 | 30-50 |
| Подсолнечник | В | 0,8-0,9 | - | - | - |
|  | Zn | 0,8-1,0 | - | - | - |

**Защитные мероприятия в интегрированных агротехнологиях**

В целях стимулирования массового прорастания семян и повышения всхожести в интенсивных агротехнологиях в качестве обязательного приема применяют разные способы предпосевной подготовки семян и посадочного материала, цель которой - освобождение семян от возбудителей болезней, повышение их жизнеспособности и ускорение прорастания. Эффективность способов предпосевной обработки зависит от видовых и биологических особенностей семян и посадочного материала, типа покоя и тщательности соблюдения условий подготовки. Применяют следующие способы предпосевной подготовки семян: стратификацию, механическое, термическое и химическое воздействие на внешние покровы, обработку микроэлементами и стимуляторами роста, звуковое, ультразвуковое и магнитное облучение, дезинфекцию и дезинсекцию. Осноными процессами при подготовке семян к посеву являются их обработка микроэлементами, регуляторами роста и протравливание (обработка пестицидами).

Протравливание семян - одно из целенаправленных, экономичных и экологичных мероприятий по защите растений от болезней и вредителей. В процессе протравливания на семена наносят пестициды для уничтожения не только наружных, но и внутренних инфекций растительного происхождения, защиты семян и проростков в поле от почвообитающих фитопатогенов и различных вредителей. Обработка семян пестицидами – процесс, предохраняющий растения от целого комплекса возбудителей и болезней, фитопатогенных грибов, раннего инфицирования мучнистой росой и ржавчины. Возбудители болезней, находящиеся на семенах и на посадочном материале, в момент протравливания пребывают в состоянии покоя и при своевременном протравливании достигается максимально продолжительный контакт фитопатогена и фунгицидного осадка, что обеспечивает эффективное уничтожение возбудителя. Бороться с почвенными фитопатогенными грибами несколько труднее, поскольку они не только поражают растения при прорастании, но и внедряются в растительные ткани, находящиеся на значительном удалении от зоны действия препарата. Предпосевную обработку семян пестицидами можно проводить как за несколько дней, так и непосредственно перед посевом. Однако достаточно часто применяют и заблаговременное, за несколько месяцев до посева, протравливание кондиционных семян. Норма расхода пестицидов при протравливании семян составляет от 0,5 до 4-5 кг действующего вещества на тонну семян, в зависимости от вида растения и марки пестицида. В зависимости от объекта воздействия протравители обеспечивают защиту семени и проростков от заболеваний и вредителей, а также способствуют высокой энергии прорастания и качеству всходов.

Инкрустация (дражирование) семян

Для предпосевной подготовки семян овощных и некоторых технических культур применяют способ инкрустации (дражирования или пиллетирования). На семена последовательно наносятся фунгициды, бактерициды, инсектициды, различные микро- и макроудобрения, стимуляторы роста, нейтральные красители, клеящие вещества. Этот способ обеспечивает более равномерный высев семян, получение дружных всходов и облегчает высев мелких семян. В качестве пленкообразователей применяют 2%-ный раствор натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (NaKМЦ) и 5%-ный раствор поливинилового спирта (ПВС). Инкрустация может проводиться как заблаговременно, так и непосредственно перед посевом.

Интегрированная система протравливаниясемян предусматривает использование сочетание:

- новейших препаративных форм – микроэмульсии с 2-3 компонентами действующих веществ;

- ростостимулирующие и корнеобразующие добавки;

- микроэлементы и аминокислоты.

Обработка биопрепаратами.

Клубеньковые бактерии являются основой препарата Ризоформ. Они способны вступать в симбиоз с бобовыми, в результате чего на корнях образуются клубеньки, которые могут фиксировать молекулярный азот из воздуха и переводить его в доступную форму для растений. Это уникальный процесс, благодаря которому культуры получают из воздуха достаточное количество азота, способствующего росту и пролонгированному развитию растений на протяжении периода вегетации. Как следствие, можно снизить на 30-50% количество вносимого в почву минерального азота без снижения урожая. Поэтому в последние годы активно применяют совместное использование минеральных удобрений и биопрепаратов или обработку минеральных удобрений биопрепаратами

**Интегрированная защита посевов.**

Почвенно-климатические условия основных природно-сельскохозяйственных зон России позволяют ежегодно получать высокие валовые сборы зерна и другой сельскохозяйственной продукции. Однако обеспечение стабильных урожаев этих культур сдерживается не только недостатком влаги, но и высокой засоренностью полей. Ежегодно проводимые учеты сорняков показывают возрастающий уровень засоренности полей, что создает серьезную угрозу продовольственной и экологической безопасности.

По экспертным оценкам ежегодно сельское хозяйство России теряет от вредителей, болезней и сорняков более 100 млн. т продукции в пересчете на зерно, из которых около 40 млн. т приходится на потери от сорняков. Средние потери урожая зерновых от сорняков составляет 20-25%, а пропашных культур до – 50% и более.

Таблица 15.

**Вынос основных элементов питания сорняками**

|  |  |
| --- | --- |
| **Степень засорености посевов,****число сорняков на 1 м2, шт** | **Вынос элементов питания,****кг/га** |
| азот | фосфор | калий | Всего NPK |
| Слабая (до 15) | 5.9 | 1.9 | 4.9 | 12.7 |
| Средняя (15-50) | 19.0 | 6.2 | 16.1 | 41.3 |
| Сильная (более 50) | 85.8 | 28.1 | 72.8 | 186.7 |

 В связи с этим разработка эффективных мер борьбы с сорняками в рамках интегрированной системы минерального питания и защиты растений является одной из актуальных проблем земледелия. Резко снизить засоренность и значительно повысить продуктивность всех сельскохозяйственных культур способно только рациональное сочетание агротехнических и химических методов борьбы с сорняками при совместном применении с минеральными удобрениями. Фитосанитарное состояние посевов находится в тесной зависимости от фактически сложившихся агрометеорологических условий.

Корректировку мероприятий по интегрированной защите растений отболезней, вредителей и сорняков осуществляют по результатам оперативного фитосанитарного мониторинга с учетом экономических порогов вредоносности вредных организмов. Оперативные фитосанитарные обследования посевов на развитие возбудителей болезней и вредителей приурочивают к определенным фазам развития культуры с охватом всех объектов, доступных учету в этот период. При обследовании выявляют фазу динамики популяций каждого вредного объекта, его фенологию и плотность с учетом экономических порогов вредоносности (целесообразности проведения защитных мероприятий).

Адаптивная стратегия защиты агроценозов от вредителей, болезней и сорняков базируется на интегрированной системе, основными компонентами которой, наряду с химическими средствами, являются севооборот, широкое использование устойчивых сортов и гибридов, комплекс агротехнических мероприятий, конструирование экологически устойчивых агроценозов, агроэкосистем и агроландшафтов.

Многочисленные данные свидетельствуют о том, что в условиях использования высоких доз азотных удобрений, орошения и потенциально высокоурожайных сортов и гибридов (конкурентоспособность которых обычно снижена) существенное уменьшение урожайности связано с засоренностью полей. К числу особо вредоносных для сельскохозяйственных культур относятся около 250 видов сорняков, обычно характеризующихся высокой семенной продуктивностью, а также способностью сохранять жизнеспособность семян в течение десятков лет. Наибольший вред сорняки наносят в первую треть вегетации культивируемых растений. В настоящее время все более утверждается мнение, что борьба с сорняками должна быть интегрированной, причем ориентирующейся на сохранение численности сорняков в пределах экономически допустимого порога их вредоносности. Такой подход к борьбе с сорной растительностью включает использование севооборотов, покровных культур и мульчирования, регулирование водного режима, азотного баланса, плотности посева, приемов обработки почвы и агротехники (сроки посева, культивации, сочетание видов и сортов с разной скороспелостью и, наконец, применение эффективных гербицидов).

Возможность управления развитием растений в в процессе вегетации базируется прежде всего на перестройке системы азотного удобрения, внедрении дробных подкормок, умеренном питании растений азотом в осенний период и оптимальном - в период дифференциации конуса нарастания и формирования элементов структуры продуктивности, а также рациональном применении ретардантов и средств защиты растений.

Дифференцированный подход к применению удобрений (в зависимости от результатов почвенной и растительной диагностики), гербицидов (при превышении экономических порогов вредоносности сорняков), фунгицидов (в зависимости от степени устойчивости сорта и порогов вредоносности) и ретардантов обеспечивает не только достаточно высокий уровень продуктивности зерновых, но и лучшую окупаемость всех дополнительных затрат.

Разработка системы защиты растений и потенциально возможного сочетания с ситемой удобрения должна осуществляться потапно в следующей последовательности:

1. Анализ фитосанитарной обстановки сельскохозяйственных угодий. Этот этап включает организацию учета, методы выявления и обследования сельскохозяйственных угодий с целью определения численности вредных организмов, энтомофагов и энтомопатогенов. При обследовании посевов определяют видовой состав, степень обилия, плотность расселения, интенсивность развития, ареал карантинных и редко встречающихся видов.

2. Прогнозирование развития сорняков и вредных организмов в посевах сельскохозяйственных культур. Этот этап включает составление прогнозов появления и распространения вредных организмов в условиях конкретной территории.

3. Составление фенологических календарей, климограмм и карт засоренности. На основании многолетних данных строят фенологические календари и феноклимограммы развития вредных объектов. С учетом фенологических наблюдений устанавливают календарные сроки наступления стадий и фаз развития вредных организмов. На основании данных маршрутных обследований и фенологических наблюдений составляют карты засоренности.

4. Определение сроков возможного сочетания звеньев системы удобрений и защитных мероприятий.

 В 80-х годах были разработаны и применены на больших площадях интенсивные технологии выращивания зерновых культур. Было показано, что дробное внесение азота в норме 120—150 кг/га в виде подкормок в течение вегетации имеет преимущество перед одноразовым. Включение в технологию приемов, направленных на снижение засоренности, полегания и поражения растений болезнями, позволило значительно повысить эффективность вносимых удобрений. Подкормка пшеницы жидкими комплексными удобрениями (ЖКУ) на фоне внесения N50 путем опрыскивания в начале колошения существенно повышала урожайность вследствие увеличения количества и массы зерна в колосе. Прирост урожайности озимой пшеницы от дробного применения азотных удобрений совместно со средствами химической защиты растений от сорняков, болезней и ретардантов в течение вегетации, включая некорневую подкормку посевов ЖКУ составил в среднем 4,5 ц/га. Было установлено, что использование гербицидов за счет снятия конкуренции культурных растений сорняков позволяет увеличить содержание клейковины в зерне пшеницы на 1,1-2,5%, а добавление к ним инсектицидов и фунгицидов - дополнительно на 1,7-3,0% в зависимости от предшественника. Применение азотных удобрений и гербицидов способствовало увеличению содержания азота в зерне (особенно по зерновым предшественникам), способствуя улучшению качества зерна.

**Применение регуляторов роста и развития растений**

В связи с широким применением интенсивных технологий возде­лывания сельскохозяйственных культур роль регуляторов роста растений резко возросла. Это объясняется тем, что под влиянием регуляторов роста повышается адаптация и устойчивость растений к неблагоприятным факторам внешней среды и в результате они более энергично используют питательные элементы из удобрений и почвы, что и обусловливает повы­шение урожайности сельскохозяйственных культур.

Анализ тенденций химизации мирового растениеводства показывает, что всеобщее повышение требований безопасности использования агрохимикатов для человека и природной среды влияет на масштабы производства и применения удобрений и пестицидов. Вместе с тем возрос научный и практический интерес к регуляторам роста и развития растений. Это обусловлено тем, что в последние годы углубилось понимание механизма действия многих известных регуляторов роста, созданы новые препараты узконаправленного действия, например активаторы и ингибиторы фитогормонов, регуляторы метаболизма, фотосинтеза, транспирации и других процессов. Уже вышли на стадию внедрения и применения препараты третьего поколения, гектарные дозы применение которых исчисляется миллиграммами. Регуляторы роста растений позволяют усиливать и ослаблять признаки и свойства растений в пределах нормы реакции, определяемой генотипом, наследственностью.

Характер влияния регуляторов роста и развития растений зависит от фона минерального питания. Регуляторы роста могут усиливать поступле­ние элементов питания в корневую систему – при их применении можно снижать дозы удобрений. Установлено, что более сильное действие регуляторов роста проявляется при средних дозах удобрений. При возделывании яровой пшеницы, картофеля и других культур применение средних доз удобрений в сочетании с регуляторами роста обеспечивало получение таких же урожаев, как и при внесении повышенных доз, что позволяет снижать дозы минеральных удобрений на 25 % и является важным элементом ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

К регуляторам роста относятся как природные, так и синтетические соединения, активно влияющие на обмен веществ. Регуляторы роста оказывают широкий спектр воздействия на растения: ускоряют созревание, увеличивают продуктивность и улучшают качество урожая сельскохозяйственных культур, а также снижают отрицательное влияние неблагоприятных факторов внешней среды. По современной классификации, существует восемь групп фитогормонов, пять из которых относятся к классическим (ауксины, гиббереллины, цитокинины, АБК и этилен) и три открыты сравнительно недавно.

Представителем классических фитогормонов являются ауксины. Они широко распространены в растениях. Наиболее богаты ими растущие части: верхушки стебля и корня, молодые листья, развивающиеся семена и пыльца. Ауксины регулируют ряд ростовых и формообразовательных процессов. Они участвуют в закладке вегетативных почек и корней, в прорастании пыльцы, в разрастании завязи и росте плодов, в формировании и прорастании семян, влияют на распределение питательных веществ, предотвращают опадение плодов и листьев . Ко второй группе относятся гиббереллины, которые синтезируются в основном в листьях и стимулируют вегетативный рост растения, активизируя процессы растяжения и деления клеток, ускоряют прорастание семян, инициируют цветение некоторых групп растений в неиндуктивных условиях, способствуют образованию партенокарпических плодов, особей мужского пола, активизируют деятельность многих, особенно гидролитических, ферментов. Третья группа представлена цитокининами, которые в растениях образуются в корнях. Вместе с током воды они передвигаются по клеткам и распространяются по всему растению. Присутствуют там, в чрезвычайно малых количествах, наиболее богаты ими развивающиеся семена. Известно еще одно удивительное свойство цитокининов - задерживать процесс старения. Кроме этого свойства, они дают толчок к дифференцированию тканей, усиливают действие света на рост побегов и закладку почек, ускоряют прорастание семян, прерывают период покоя спящих почек, клубней, задерживают верхушечное доминирование и стимулируют рост боковых (пазушных) почек, вызывают открытие устьиц. Такими же свойствами, помогающими растению хорошо сбалансировать стимулирующие и тормозящие процессы, обладает газообразное вещество этилен. Он образуется в листьях многих растений, а также выделен в качестве метаболита в цветках. Присутствующий в растениях этилен тормозит деление клеток и способствует старению тканей, в результате чего опадают листья и генеративные органы, индуцирует созревание плодов. Обрабатывая растения этиленом, можно ускорить сбрасывание листьев, стимулировать цветение и созревание, вызвать появление корней и их переориентацию, образование корней с большим числом спящих почек, подавить удлинение побегов и корней, изменить соотношение женских и мужских цветков в сторону образования женских . Абсцизовую кислоту часто называют «хранителем покоя». Это связано с тем, что, накапливаясь в семенах созревающих плодов, в кожуре покоящихся клубней, в осенних почках растений, она способна подавлять ростовые процессы - прорастание семян и клубней, распускание почек, образование корней, рост стебля. Однако роль абсцизовой кислоты сводится не только к торможению отдельных процессов жизнедеятельности растительного организма. В низких концентрациях она может стимулировать корнеобразование, рост растяжением и др.

Брассиностероиды - новая группа фитогормонов, открытых в 70-х годах. Они содержатся в малых количествах в тканях цветков, листьев и молодых стеблях растений. Среди недавно открытых фитогормонов следует назвать жасминовую и салициловую кислоты, которые также оказывают влияние на биосинтез гормонов в растениях. Под действием жасминовой кислоты резко увеличивается уровень другого гормона - абсцизовой кислоты. Она также регулирует уровень этилена, стимулируя его биосинтез в молодых растущих тканях и снижая в старых.

Проблема регуляции роста и развития растений с помощью физиологически активных веществ в настоящее время является одной из самых актуальных в современных агротехнологиях. Интерес к данной группе соединений обусловлен широким спектром их действия на растения, возможностью направленно регулировать отдельные этапы роста и развития с целью мобилизации потенциальных возможностей растительного организма, а, следовательно, для повышения урожайности и качества сельскохозяйственной продукции. Адаптация растений к действию различных регуляторов роста связана с многообразными изменениями ряда физиологических процессов - дыхания, фотосинтеза, нуклеиново-белкового обмена и др. Созданы регуляторы роста широкого спектра действия, специфически влияющие на разные сельскохозяйственные культуры. Эти препараты применяются в микродозах как для предпосевной обработки семян, так и для опрыскивания вегетирующих растений. Обеспечивают существенные прибавки урожая и повышение качества продукции сельскохозяйственных культур. Таким образом, установленные экспериментальным путем свойства регуляторов роста в сочетании с их экологической безопасностью и благоприятными токсиколого-гигиеническими данными позволяет судить о больших возможностях их применения для повышения урожайности и устойчивости к неблагоприятным условиям произрастания сельскохозяйственных культур. Способность данных соединений наряду с функциями регуляторов роста осуществлять роль защиты растений от болезней, снижать содержание токсических веществ, тяжелых металлов и радионуклидов в сельскохозяйственной продукции и кормах, предсказывает им еще большие перспективы практического применения в растениеводстве и кормопроизводстве. Высокая экономическая эффективность применения регуляторов роста растений сегодня уже не вызывает сомнения и лежит в основе поиска новых препаратов, разработки более оптимальных способов и расширение области их использования. Доказано, что совместное применение регуляторов роста растений с современными гербицидами и инсектицидами дает возможность снизить на 20-25 % норму использования пестицидов на 1 га посевов без снижения защитного эффекта.

**Потребность растений в элементах питания**

Содержание азота и зольных элементов в растениях зависит от биологических особенностей культуры. Так, максимальное содержание азота характерно для бобовых культур, калия - для кормовых корнеплодов, картофеля. Содержание азота и фосфора выше в генеративных органах (основная продукция), содержание же калия, наоборот, больше в вегетативных органах (побочная продукция).

При построении системы удобрения необходимо учитывать особенности питания и агротехнику культур севооборота.

Сельскохозяйственные растения различаются общей величиной потребления элементов питания для формирования урожая, темпами их поглощения на протяжении неодинакового по длительности периода вегетации, а также по соотношению усвоения основных элементов азота, фосфора и калия.

Для культур, более требовательных к элементам питания (сахарная свекла, кукуруза, картофель и др.), при прочих равных условиях необходимы более высокие дозы удобрений. Разные сорта одной и той же культуры могут сильно различаться по требовательности к питательному режиму и отзывчивости на внесение удобрений. Скороспелые сорта характеризуются более коротким периодом поглощения питательных веществ и более требовательны к условиям питания по сравнению с позднеспелыми.

Применение удобрений должно обеспечивать наилучшие условия питания растений в течение всего периода вегетации в соответствии с их потребностью.

Для построения рациональной системы удобрения в севообороте необходимо учитывать также агротехническое и экономическое значение различных культур. В каждом севообороте есть ведущая культура, имеющая наибольшее значение и дающая наибольший доход хозяйству.

При разработке системы удобрения, определении доз, сроков и способов применения удобрений должны быть учтены различия в чувствительности отдельных культур (особенно в молодом возрасте) к концентрации питательных веществ в почвенном растворе, в усваивающей способности корневой системы и характере ее развития (мощности, глубине проникновения и т. д.), в требовательности к реакции среды.

Химический состав растений непостоянен в течение вегетации. В первые фазы роста и развития поглощение элементов питания культурой значительно опережает синтез ими органических веществ, поэтому содержание элементов питания в этот период выше, чем в конце вегетации. Кроме того, растения во второй половине вегетации теряют некоторые элементы, прежде всего калий. Потери элементов питания объясняются отмиранием и опадением старых листьев, а потери калия – еще и вымыва­нием дождями из надземных органов.

Сведения об элементном составе растений имеют практическое значение. По химическому составу судят об обеспеченности растений питательными веществами (растительная диагностика). Его используют для расчета хозяйственного выноса и доз удобрений, а также для контроля за качеством растениеводческой продукции.

Потребность растений в элементах питания определяется по их выносу с урожаем. Различают биологический, хозяйственный, остаточный и относительный (удельный, нормативный) вынос элементов питания.

*Биологический вынос* – вынос питательных элементов из почвы всей биомассой растений (основной и побочной продукцией, убираемой с поля, пожнивными остатками, корнями, опавшими листьями, оставшимися на поле).

Биологический вынос подразделяется на хозяйственный и остаточный.

*Хозяйственный вынос -* вынос питательных элементов с урожаем убираемой с поля основной и побочной продукции (например, зерно и солома, корнеплоды и ботва). Величину хозяйственного выноса в кг/га вычисляют по формуле:

Вх **=** Со\*Уо+Сп\*Уп,

где Вх - хозяйственный вынос, кг/га;

Со - содержание элемента питания в основной продукции, %;

Уо - урожайность основной продукции, ц/га;

Сп - содержание элемента питания в побочной продукции, %;

Уп - урожайность побочной продукции, ц/га.

*Остаточный вынос -* это элементы питания, которые остаются в поле, с побочной продукцией (если она не убирается с поля), с пожнивно-корневыми остатками, опавшими листьями, потерянным зерном и т.д.

 Растения потребляют преимущественно те питательные вещества, которые им необходимы, что обусловлено их биологическими особенностями и характеризует избирательность поглощения элементов питания растениями. Большинство сельскохозяйственных культур больше выносят азота, меньше калия и еще меньше фосфора (табл. 2.1.2, 2.1.3). Зерновые культуры выносят больше азота. Пропашные культуры (сахарная и кормовая свекла, кукуруза, картофель, овощные культуры) потребляют больше калия. Примерное соотношение элементов питания в урожае сельскохозяйственных культур приведено в табл.16.

Таблица 16.

**Примерное соотношение элементов питания в урожае**

**сельскохозяйственных культур**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Культура** | **N** | **Р2О5** | **К2О** |
| Зерновые | 2,5-3 | 1 | 1,5-2,2 |
| Картофель | 2,5-3,5 | 1 | 6,0-6,5 |
| Сахарная свекла | 2,5-3,5 | 1 | 3,5-5,0 |
| Клевер | 3,5 | 1 | 4,0 |
| Овощи (в среднем) | 3,0 | 1 | 4,3 |

Установлено, что действие минерального питания на изменение химического состава растений ограничено, а гораздо большее значение имеют генетически установленные свойства. Вместе с тем, наиболее эффективным и быстродействующим фактором, способствующим повышению качества растениеводческой продукции, являются удобрения. Действие удобрений на химический состав растений определяется тем, что питательные вещества, поступающие в растения из удобрений, входят в состав важнейших органических соединений и повышают их содержание в основной и побочной продукции. Кроме того, отдельные элементы питания оказывают влияние на активность ферментативных систем растений. С помощью удобрений можно изменять направленность процессов обмена веществ и регулировать накопление в растениях полезных для человека веществ – белков, крахмала, сахаров, жиров, витаминов и др.

Влияние удобрений на качество урожая может быть *прямым и косвенным*. Под прямым влиянием на качество урожая понимают изменение соотношения между вегетативной и репродуктивной массой. При высоких урожаях вегетативной массы происходит резкое увеличение выноса элементов питания из почвы, снижается эффективность применения удобрений. Бурный рост вегетативной массы происходит, когда используют завышенные дозы азотных удобрений, когда азотные удобрения вносятся в неправильном соотношении с фосфорными и калийными удобрениями и когда запаздывают с азотными подкормками.

Под косвенным влиянием на качество урожая подразумевается изменение химического состава растений, т.е. изменение содержания в растениях белков, жиров, углеводов, элементов питания и других показателей. В растениях на разных стадиях развития протекают разнонаправленные процессы – биосинтез белков и др. азотистых соединений и биосинтез углеводов или жиров. При усилении биосинтеза белков уменьшается синтез углеводов или жиров, и наоборот. С помощью удобрений можно изменять направленность процессов обмена веществ и регулировать накопление в растениях полезных для человека веществ – белков, крахмала, сахаров, жиров, витаминов и др.

Под влиянием азотных удобрений усиливается синтез аминокислот и белков. Так, применение возрастающих доз азота способствовует увеличению содержания сырого белка в зерне яровой пшеницы и ячменя на 2%.

На содержание белка в зерне озимых и яровых зерновых культур существенное влияние оказывают подкормки растений азотом в период начала колошения растений. Азот, поступающий в растения в эту фазу, используется, в основном, для образования семян, в результате чего содержание азота в них повышается, и синтез белков происходит более ин­тенсивно.

Под влиянием фосфорных удобрений возрастает интенсивность синтеза сахарозы, крахмала, жиров, несколько меньше – белков. Для качества продукции важно не только абсолютное количество фосфора, но и его соотношение с другими элементами питания, в первую очередь с азотом. Изменяя соотношение между азотом и фосфором, можно регулировать направленность процессов обмена, и таким образом способствовать накоплению в растениях белков или углеводов. Под влиянием фосфорных удобрений ускоряется созревание культур.

Под влиянием калия повышается накопление крахмала, сахарозы и жиров. Калий усиливает синтез высокомолекулярных углеводов (целлюлозы, гемицеллюлозы, пектиновых веществ), в результате чего утолщаются клеточные стенки стебля злаковых культур и повышается устойчивость их к полеганию, у льна улучшается качество волокна. Калий усиливает синтез некоторых витаминов, в частности тиамина и рибофлавина.

Микроэлементы улучшают сбалансированность минерального питания растений и участвуют в синтезе и обмене веществ. Медь, участвуя в азотном обмене в растениях, способствует накоплению белка в зерне. Бор и цинк улучшает углеводный и белковый обмен в растениях. Так, внесение бора внекорневую подкормку под сахарную свеклу увеличивает сахаристость корнеплодов. Применение цинка на посевах кукурузы сопровождается ростом содержания белка и крахмала в зерне.

Регулировать качество продукции можно подбором форм минеральных удобрений. Так, под гречиху, картофель не рекомендуют вносить хлорсодержащие калийные удобрения. Под сахарную свеклу лучше вносить натрийсодержащие удобрения (калийная соль и др.), т.к. натрий положительно влияет на накопление сахаров в корнеплодах.

Управлять процессом питания и получать необходимый эффект в формировании качественной растениеводческой продукции можно лишь при обоснованном применении удобрений с учетом биологических и физиологических особенностей сельскохозяйственных культур, почвенных условий, степени кислотности, запасов макро- и микроэлементов в почвах, а также факторов внешней среды.

Высокий уровень агротехники, начиная с обработки почвы, подготовки кондиционного посевного материала и посева, необходимое условие эффективного использования растениями питательных элементов из почвы и удобрений. Нарушение агротехнических требований (некачественная или несвоевременная обработка почвы, низкое качество посевного материала, засоренность посевов и т. д.) резко снижает эффективность удобрений.

**Особенности питания растений в различные периоды**

**их** **роста и развития**

Растения поглощают элементы питания избирательно, а поглощение элементов питания в течение вегетации осуществляется неравномерно. Изменения требований растений к условиям питания связаны с изменением энергии фотосинтеза, интенсивности дыхания, обмена веществ и т.д.

Выделяют три этапа поступления питательных элементов в растение за вегетационный период.

*Первый этап* – это период прорастания семян, всходов и первое время после всходов (10-15 дней). В это время растения имеют слаборазвитую корневую систему с невысокой усваивающей способностью, отличаются высокой чувствительностью к недостатку элементов питания в доступной форме (особенно фосфора), к повышенной концентрации элементов питания в почве, а также к повышенной кислотности почвенного раствора. В этот период в слое прорастания семян в почве должна быть невысокая концентрация элементов питания в легкорастворимой форме с преобладанием фосфорного питания над азотным и калийным. У большинства растений в молодом возрасте проявляется критический период к недостатку фосфора.

*Второй этап* по времени более продолжительный, чем первый. В этот период у растений усиленно развивается и формируется ассимилирующая (листовая) масса, бурно нарастает общая вегетативная масса, у некоторых растений образуются плоды (огурцы), завязываются и растут кочаны (салат, капуста). Корневая система хорошо развита и обладает высокой усваивающей способностью, характерной для растения. Резко возрастает интенсивность накопления элементов питания. У большинства растений в этот период отмечается максимальное потребление элементов питания.

*Третий этап* – затухание процесса поглощения элементов питания. Чаще всего он совпадает с образованием репродуктивных органов. Поступление элементов питания снижается, но интенсивность процесса синтеза у растений остается по-прежнему высокой. Наблюдается реутилизация, т.е. повторное использование в биосинтезе ранее поглощенных питательных элементов и отток из листьев к репродуктивным органам (местам отложения). В конце вегетации имеет место некоторая потеря элементов питания в результате опадения листьев и оттока из корневой системы в почву.

В жизни растений различают два наиболее важных периода питания, с которыми следует учитывать при использовании удобрений. Первый, получивший название критического, совпадает с начальными фазами роста и развития большинства растений. Большая требовательность молодых растений к условиям минерального питания объясняется высокой напряженностью синтетических процессов, происходящих в это время в растительном организме, и одновременно слаборазвитой корневой системой. В этот период растения чувствительны как к недостатку, так и к избытку элементов минерального питания.

*Под критическим понимается такой период, когда при небольшом потреблении питательных элементов, недостаток или отсутствие какого-либо элемента питания отрицательно сказывается на росте растений, а в конечном итоге и на урожае. Последующее обеспечение растений этим питательным элементом не может полностью исправить положение, т.е. повысить урожай.*

По отношению к фосфору критический период у большинства растений приходится на первые 15 дней после прорастания. По отношению к азоту – первые 15-30 дней. При резком недостатке калия в первый период роста и развития растений также сильно снижается урожай. Однако последующее внесение калийных удобрений позволяет значительно повысить урожай. Поэтому по отношению к калию обычно критический период не выделяют.

В полевых условиях критический период в отношении минерального питания обычно совпадает с низкой активностью микроорганизмов, разлагающих органическое вещество почвы. Это обычно проявляется ранней весной при низкой микробиологической деятельности в почве. В этот период у молодых растений корневая система развита слабо и характеризуется невысокой усваивающей способностью. Поэтому в первый период вегетации растений системой удобрений должно быть предусмотрено внесение фосфорных удобрений или азотно-фосфорных удобрений. Под некоторые калиелюбивые культуры (сахарную и кормовую свеклу, картофель) при посеве вносятся три элемента питания (NРК).

*Второй период получил название периода максимального потребления питательных веществ. В этот период растения поглощают наибольшее количество питательных элементов. Этот период характеризуется максимальной интенсивностью потребления питательных веществ растениями.*

У ячменя наиболее интенсивное потребление азота, фосфора и калия отмечается в фазу выхода в трубку. У картофеля наиболее интенсивное потребление азота приходится на период интенсивного клубнеобразования, а потребление фосфора и калия - на период от бутонизации до цветения.

Период максимального потребления элементов питания может быть длительным, растянутым как у сахарной свеклы, многолетних трав и, наоборот, коротким, как у ранних сортов картофеля. Так, у озимых зерновых период максимального поглощения элементов питания длится от фазы выхода в трубку до колошения, у яровых зерновых - от кущения до коло­шения, у льна - от начала бутонизации до конца цветения.

Недостаточная обеспеченность питания растений в период максимального потребления питательных веществ вызывает снижение урожая и ухудшение его качества.

При разработке системы удобрения отдельных сельско­хозяйственных культур наряду с особенностями потребления ими элементов питания необходимо учитывать и другие биологические особенности растений: характер развития и усваивающая способность корневой системы, продолжительность вегетационного периода, отношение к концентрации почвенного раствора и т.д.

*Характер развития корневой системы и ее усваивающая способность.* Основная масса корней у большинства сельскохо­зяйственных культур сосредоточена во влажном слое пахотного горизонта с глубины 5 см и ниже от поверхности почвы. Оптимальные условия питания для растений создаются, если удобрения вносятся в наиболее влажный слой почвы на глубину от 10 до 20 см, т.е. в зону размещения основной массы корневой системы. При мелкой заделке удобрения размещаются в поверхностных, пересыхающих слоях почвы и плохо используются растениями. Особенно низкий эффект от такой заделки наблюдается в засушливые годы при недостаточном выпадении осадков.

Корневая система сельскохозяйственных культур имеет различную усваивающую способность по отношению к фосфору и калию. Высокой усваивающей способностью по отношению к фосфору обладают люпин, гречиха, горчица, горох, озимая рожь. Эти культуры хорошо усваивают фосфор из запасов почвы и труднорастворимых фосфатов, менее отзывчивы на внесение фосфорных удобрений. При содержании подвижных форм фосфора в почве свыше 110 мг/кг почвы гречиха и люпин не отзываются на применение фосфорных удобрений.

Хорошо усваивают калий из почвы люпин, гречиха, сахарная и кормовая свекла, картофель, хуже – лен, клевер, кукуруза.

Под культуры, обладающие слабой усваивающей способностью, необходимо вносить элементы питания по потребности и в легкодоступной форме.

Культуры с коротким вегетационным периодом (лен, яровые зерновые и др.), как и скороспелые сорта, более требовательны к условиям питания, лучше отзываются на внесение удобрений в легкодоступной форме. Культуры с продолжительным вегетационным периодом (кукуруза, свекла, картофель, капуста и др.), как и позднеспелые сорта, менее требовательны к условиям питания. Они длительнее и лучше используют элементы питания из органических удобрений, запасов почвы и труднодоступных форм удобрений.

Сорта интенсивного типа лучше отзываются на высокий агрофон и, в частности, на высокие дозы удобрений, и плохо растут, дают низкий урожай на более бедном по питанию фоне.

Озимая рожь, озимая пшеница, ячмень, овес, картофель, капуста, томаты выдерживают высокую концентрацию почвенного раствора. Под эти культуры возможно внесение всех элементов питания с минеральными удобрениями, можно внести все элементы питания при посеве или посадке, а также возможно внесение фосфорных и калийных удобрений в запас.

**Баланс питательных веществ**

Для оценки доз удобрений в системе удобрений необходимо расчитать баланс питательных веществ на конкретном поле, в севообороте и в целом по хозяйству.

Расчеты баланса питательных веществ и органического веществ основываются на определенных моделях, в которых использованы результаты исследований по основным потокам питательных веществ, трансформации элементов минерального питания и гумуса в почве, их миграции за пределы пахотного слоя, по биохимии растений и т .д. Сущность расчета состоит в сопоставлении прихода и расхода соответствующих элементов минерального питания.К приходным статьям относят:

* поступление питательных веществ с минеральными удобрениями;
* поступление питательных веществ с органическими удобрениями
* поступление питательных веществ в почву с семенами и посадочным материалом;
* поступление питательных веществ с атмосферными осадками;
* поступление в почву симбиотически фиксированного азота атмосферы. Несимбиотически фиксированного азота атмосферы свободно живущими почвенными микроорганизмами
* поступление в почву фмксированного азота атмосферы небобовыми растениями в ассоциативном симбиозе с почвенными микроорганизмами.

К расходным статьям баланса относят:

* вынос элементов минерального питания урожаем сельскохозяйственных культур (с учетом основной и побочной продукции);
* вынос питательных веществ сорняками;
* потери питательных веществ удобрений за счет инфильтрации;
* потери азота в результате денитрификационных процессов в почве;
* потери питательных веществ органического вещества из почвы в результате почвенной эрозии.

Для систематизации многочисленных моделей подсчета баланса питательных веществ (NPK и органическое вещество) предложена следующая их классификация:

1. Экспериментальный баланс в различных агросистемах (на основе непосредственных экспериментальных данных):

* почва - удобрение
* почва - удобрение - растение
* почва - удобрение - растение - окружающая среда

2. Расчетный баланс (на основании справочных данных)

* производственный (севообороты, отдельные хозяйства)
* зональный (почвенно-растительные агросистемы)
* муниципальный (муниципальные районы)
* региональный (регионы, экономические районы, федеральные округа, страна в целом)
* глобальный.

Каждый из указанных выше видов балансовых расчетов имеет право на самостоятельное существование и использование для соответствующих целей и задач. Наибольшую информацию несет их сочетание. Важно при этом различать два способа расчета баланса:

* с учетом биологического поглощения питательных веществ;
* хозяйственного выноса питательных веществ.

Включение в приходные статьи баланса, как это рекомендует ФАО, поступления элементов с осадками, семенами, пожнивными остатками, а в расходные - потери при миграции, эрозии, с сорняками и т.д., целесообразно при специальных расчетах и при условии наличия достоверных данных.

При практических расчетах баланса питательных веществ и органического вещества в почве важно учитывать то, что приходные и расходные статьи баланса в отдельные годы не совпадают. При интерпретации существа балансовых процессов следует учитывать различные виды цикличности и гистерезиса. Цикличность отмечается не только в трансформации и в накоплении питательных веществ, но также в процессах синтеза и распада, миграции в нижние горизонты и подтягивания элементов в пахотный слой и т.д.

Баланс питательных элементов в звене полевого севооборота характеризует степень стационарности состояния почв, их прогрессивного развития или деградации. В длительных опытах установлено, что расход питательных веществ на производство сельскохозяйственной продукции и непроизводительные потери должны компенсироваться. Без внесения минеральных удобрений постепенно наступает истощение почв и, как следствие, уменьшение урожайности сельскохозяйственных культур и деградация почв.

В балансовых расчетах используют:

- данные государственной статистики и хозяйственного учета;

- параметры, полученные в ходе стационарных полевых опытов Географической сети опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами;

- данные агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий;

- результаты лизиметрических исследований;

- результаты анализов состава минеральных и органических удобрений, микробиологического состояния почвы;

а также оценочные параметры, установленные в ходе экспериментов для конкретных типов почв или определенных климатических условий. Каждый из таких оценочных параметров вносит определенную погрешность в расчет баланса элементов минерального питания и гумуса в земледелии.

В табл. 17 приведены оценочные данные по выносу питательных веществ сорняками в зависимости от степени засоренности посевов.

Таблица 17.

**Вынос питательных веществ с сорняками**

|  |  |
| --- | --- |
| **Степень засоренности посевов (количество сорняков на 1 м2, шт)** | **Вынос, кг/га** |
| **Сумма NPK** | **в том числе:** |
| **азот** | **фосфор** | **калий** |
| Слабая (5-15) | 12,7 | 5,9 | 1,9 | 4,9 |
| Средняя (16-50) | 41,3 | 19,0 | 6,2 | 16,1 |
| Сильная (более 50) | 186,7 | 85,8 | 28,1 | 72,8 |

В результате эрозии и стока поверхностных вод теряется наиболее плодородная тонкодисперсная фракция почвы, богатая гумусом и питательными элементами. Эрозия почв является серьезной проблемой современного земледелия практически для всех типов почв. Оценка эрозионных потерь питательных веществ и гумуса в почвах Черноземной зоны приведена в табл.18.

Таблица 18.

Эрозионные потери питательных веществ для почв чернозерной зоны

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Агрофон** | **Смыв почвы, т/га** | **Потери с мелкоземом, кг/га в год (числитель).** **с водами (знаменатель** |
| гумус | Азот (N) | Фосфор(P2O5) | Калий(K2O) | Кальций(CaO) | Магний(MgO) |
| Отвальная вспашка | 5,2 | 343 | 18/16 | 10/0,1 | 109/0,4 | 105/16,6 | 63/4,1 |
| При использовании противоэрози-онных приемов | 2,1 | 139 | 7/0,4 | 4/0,1 | 44/0,4 | 37/13,9 | 22/3,4 |
| Озимые культуры | 2,4 | 158 | 8/2,6 | 5/0,2 | 50/0,9 | 44/32,6 | 27/7,5 |
| Многолетние травы | 0,12 | 7 | 2/2,8 | 0,2/0,4 | 2/1,6 | 4/50 | 3/10,7 |

В расчетах баланса азота обычно допускают, что потери его за счет инфильтрации покрываются поступлением с атмосферными осадками, что, по-видимому, правомерно в отношении почв среднего и тяжелого гранулометрического состава, а также пахотных угодий, занятых культурами сплошного сева и многолетними травами. На почвах песчаного и супесчаного гранулометрического состава и сельскохозяйственных угодьях под чистыми парами, пропашными культурами среднегодовые потери азота ориентировочно можно принять в размере 10 кг/га с учетом частичной компенсации азота атмосферными осадками.

**Расчет баланса гумуса**

Баланс гумуса рассчитывается с целью прогнозирования и расчета потребности пахотных почв в органических удобрениях необходимых для получения планируемого урожая и воспроизводства плодородия.

Баланс гумуса определяется по разности между статьей прихода (за счет поступления и гумификации пожнивно-корневых остатков, органического вещества удобрений) и расхода (минерализация гумуса при возделывании сельскохозяйственных культур и паровании полей).

Расчет баланса можно проводить для поля, севооборота, хозяйства, муниципального образования, региона и т.д.

Для расчета баланса необходимы следующие данные:

- размещение культур в севообороте;

- планируемый урожай;

- площадь посева соответствующих культур;

- дозы минеральных удобрений;

- виды и дозы органических удобрений;

- тип, подтип и разновидность почвы.

Расходные статьи баланса гумуса

Расход гумуса за счет минерализации зависит от целого ряда факторов:

- почвенно-климатических условий

- интенсивности обработки почв

- структуры посевных площадей

- урожая культур

- уровня химизации и т.д.

Наибольшая минерализация гумуса отмечается в чистых парах, далее в убывающем порядке следуют пропашные культуры, культуры сплошного сева (зерновые, зернобобовые, однолетние травы), многолетние травы, луга и пастбища.

Уровень минерализации гумуса зависит и от гранулометрического состава почв. На легких почвах он возрастает.

Баланс гумуса находят как разность между приходными и расходными статьями. Приходные статьи баланса гумуса зависят от количества свежего органического вещества, поступившего в почву (органические удобрения, пожнивно-корневые остатки, внесение соломы и других органогенных продуктов, запашка сидератов), которое в процессе гумификации пополнит запасы гумуса в почве. Расходные статьи баланса представлены потерями гумуса при минерализации и при эрозии почвы.

Для расчета минерализации гумуса с учетом этих факторов и интенсивности обработки почвы используют поправочные коэффициенты:

* для тяжелого суглинка значение поправочного коэффициента составляет 0,8, среднего 1,0, легкого – 1,2, супеси 1,4, песка – 1,8.
* для многолетних трав поправочный коэффициент равен 1,0, для зерновых и других культур сплошного сева 1,2, для пропашных – 1,6.

Потребность сельскохозяйственных культур в элементах питания характеризуется содержанием их в растениях. Содержание азота и зольных элементов в растениях зависит от биологических особенностей культуры. Так, максимальное содержание азота характерно для бобовых культур, калия - для кормовых корнеплодов и картофеля. Содержание азота и фосфора выше в генеративных органах (основная продукция), содержа­ние же калия, наоборот, больше в вегетативных органах (побочная продукция).

**Методы определения доз минеральных удобрений**

Уровень применения минеральных удобрений и других средств химизации в хозяйстве определяется, прежде всего, экономическими условиями. При разработке системы удобрения в хозяйстве и севооборотах наиболее рациональные дозы минеральных удобрений следует ус­танавливать в зависимости от применяемых технологий возделывания сельскохозяйственных культур. При выборе доз удобрений необходима их тщательная агроэкономическая оценка. Оптимальной дозой следует считать ту, которая обеспечивает наибольшую урожайность с гектара при максимальном чистом доходе от удобрений, т.е. самую низкую себестоимость получаемой продукции. Кроме того, она должна обеспечивать воспроизводство плодородия почвы и не оказывать негативного воздействия на окружающую среду.

Определение оптимальных доз минеральных и органических удобрений под сельскохозяйственные культуры является ключевым вопросом системы удобрения. Дозы удобрений на планируемую урожайность сельскохозяйственных культур могут быть определены экспериментально, путем проведения полевых опытов с удобрениями или балансовыми расчетными методами с использованием данных о затратах элементов питания на создание урожая и коэффициентов использования питательных веществ растениями из почвы и удобрений, установленных в проведенных ранее полевых опытах.

**Определение доз удобрений на основе результатов поле­вых опытов**.

Основой для планирования применения удобрений, установления оптимальных доз и соотношения питательных веществ служат результаты полевых опытов. В стационарных опытахизучают систематическое внесение удобрений в севообороте. Чаще всего эти опыты бывают многолетними. Результаты стационарных опытов служат надежной основой для разработки рекомендаций по применению удобрений в зоне их проведения. Полевые опыты,закладываемые непосредственно в производственных условиях, дают возможность установить действие удобрений на урожай и его качество в конкретных хозяйственных условиях. Они служат для проверки и уточнения результатов, полученных в стационарных опытах, применительно к условиям хозяйства.

Результаты полевых опытов географической сети и массовых полевых опытов агрохимслужбы позволили выявить основные закономерности в действии удобрений: установить размеры средних устойчивых прибавок урожая сельскохозяйственных культур от внесения различных доз отдельных видов удобрений и их сочетаний; определить оптимальные дозы и соотношения основных элементов питания для получения максимальной агрономической и экономической эффективности удобрений; установить потребность в удобрениях по природно-экономическим районам и регионам страны, планировать их применение на различных уровнях управления сельскохозяйственным производством. Результаты исследований на базе полевых опытов используются для формирования единого электронного банка данных агрохимической службы.

Используя результаты полевых опытов, специалисты хозяйств должны учитывать поправочные коэффициенты на агрохимические свойства почв конкретных полей, а также действие других факторов, влияющих на эффективность удобрений.

Из-за большой трудоемкости, высоких материальных затрат на проведение полевых опытов и территориальной ограниченности использования полученных результатов, широкое распространение получили расчетные методы определения доз удобрений.

**Метод баланса питательных веществ.**

В основе этого метода используются данные по выносу элементов питания с основной и побочной продукцией, поступление элементов минерального питания из минеральных и органических удобрений, коэффициенты использования питательных веществ из почвы и из удобре­ний.

Расчет доз удобрений проводится по следующей формуле:

*Ку*

где *Д* – доза удобрений, кг д.в./га;

*У* – планируемая урожайность, т/га;

*В* – удельный (нормативный) вынос элементов питания уро­жаем, кг/т;

*Зп -* запасы питательных веществ в почве, кг/га;

*Кп* – коэффициент использования элементов питания из поч­вы, %;

*Ку* – коэффициент использования элементов питания из удобрений, %.

**Нормативный метод**.

Расчет доз удобрений по нормативам затрат минеральных удобрений на единицу урожая или на единицу прибавки урожая. Общую потребность в минеральных удобрениях для получения планируемой урожайности культуры на конкретном поле с известным гранулометрическим составом и степенью эродированности почвы, а также ее обеспеченностью фосфором и калием рассчитывают по следующей формуле:

ДN, P, K = уп ∙ HN, P, K ∙ C P, K ∙ Кг N, P, K ∙ Кэ N, P, K ∙ Кп N,

где ДN, P, K — необходимое количество питательных веществ удобрений (N, P2O5 и K2O, кг/га д.в.) на планируемую урожайность;

уп*—* планируемая урожайность, т/га основной продукции;

HN, P, K — норматив затрат питательных веществ удобрений (N, P2O5 и K2O), кг/т основной продукции и соответствующее количество побочной;

CP,K — поправочный коэффициент на содержание подвижных форм фосфора и калия;

 Кг N, P, K — поправочный коэффициент на гранулометрический состав почвы;

Кэ N, P, K — поправочный коэффициент на степень эродированное почвы;

Кп N — поправочный коэффициент к дозам азота в зависимости от предшественника.

Во ВНИИ агрохимии разработан новый подход к нормативам окупаемости прибавкой урожая для каждой природно-климатической зоне, которые учитывают тип почвы, агрохимические хараткристики почвы и уровень использования удобрений.

**Определение доз удобрений на планируемую прибавку урожая сельскохозяйственных культур.**

Вынос элементов питания с планируемой прибавкой урожая сельскохозяйственных культур определяют по нормативным данным о хозяйственном выносе основных элементов питания в составе основной и побочной продукции. Хозяйственный вынос NPK с планируемой прибавкой урожая корректируется на содержания питательных веществ и коэффициента использования питательных веществ из удобрений.

Расчет доз удобрений на планируемую прибавку урожая ведут по формуле:

,

где Д(N.P.K) — доза удобрения, кг д. в. на 1 га;

Уп — планируемая урожайность, т с 1 га;

*У*ф — фактический урожай за последние три года, т/га;

В *—* вынос элементов питания, кг д.в. на 1 т основной и соответствующего количества побочной продукции;

С *—* поправочный коэффициент на плодородие почвы;

Ку *—* коэффициент использования растением элемента питания из удобрения, %.

**Определение доз удобрений на планируемый урожай сельскохозяйственных культур**

Коэффициенты использования питательных веществ из почвы (КП) и удобрений (*К*У)в процентах определяют по данным полевых опытов и агрохимического анализа почвы по следующим формулам:

 КУ = dуВ/ДОПТ∙100;

 КП = уВ/П∙100,

где d*у —* прибавка урожая (т/га) от внесения оптимальной дозы *Д*ОПТ (N, Р, K) одного вида удобрения (N, Р или K) на фоне двух других;

*В —* вынос питательных веществ единицей урожая, кг д. в. на 1 т;

*У —* урожайность в фоновом варианте, т/га;

*П —* содержание подвижных форм питательных веществ в почве, кг на 1 га (рассчитывают путем пересчета результатов агрохимического анализа почвы в мг/кг на массу пахотного горизонта почвы).

Дозу азотных удобрений *Д*(N) рассчитывают на планируемую прибавку урожая (d*у*), а фосфорных и калийных удобрений *Д*(Р,К) — на весь планируемый урожай (*У*) по формулам:

; .

**Определение доз питательных веществ с учетом коэффициента возмещения выноса.**

В этом случае расчеты базируются на соблюдении оптимальной или заданной степени возмещения выноса питательных веществ с урожаем за счет удобрений. *Коэффициент возмещения выноса* *КВ* определяют на основании результатов полевых опытов с удобрениями по формуле:

*КВ* = *Д*ОПТ/*У*ОПТ\* *В* (N,P,K),

где *Д*ОПТ — оптимальная доза удобрения, кг д. в. на 1 га;

*У*ОПТ — полученная при ее применении урожайность, т/га;

*В —* хозяйственныйвынос питательных веществ с единицей урожая, кг д. в. на 1 т (определяют на основании данных химического анализа основной и побочной продукции).

Дозу минеральных удобрений *Д*(N,P,K) (в кг д.в. на 1 га) на планируемый урожай (*У*) с использованием коэффициента возмещения выноса рассчитывают по формуле:

*Д*(N,P,K) = *У\*В\*К*В\**С*,

где *С —* поправочный коэффициент на обеспеченность почвы подвижными формами элементов питания.

**Метод целенаправленного регулирования плодородия почвы**.

Расчет доз удобрений проводится с целью повышения почвенного плодородия по формуле:

Д = 0,1 (Сплан. – С факт.) **.** Н,

где Д – доза удобрений, кг д.в./га;

Сплан. – планируемое содержание подвижного фосфора и калия, мг/кг;

Сфакт. – фактическое содержание подвижного фосфора и калия, мг/кг;

Н – нормативная доза фосфорных и калийных удобрений сверх выноса их с урожаем для увеличения содержания подвижного фосфора и калия на 10 мг/кг, кг/га.

**Программный метод**.

Разработаны различные варианты компьютерных программ для составления планов применения удобрений на уровне поля или хозяйства под отдельные культуры и в севооборотах. В программах предусмотрено определение доз удобрений всеми основными методами (на базе прямого использования результатов полевых опытов, нормативных данных, балансовых расчетов и производственных функций). Выбор предпочтительного метода расчета зависит от состояния почвенного плодородия, уровня планируемой урожайности сельскохозяйственных культур и обеспеченности хозяйства удобрениями и техникой для их применения. В программах предусмотрен учет выноса элементов питания планируемыми урожаями сельскохозяйственных культур и коэффициента их возврата в почву. Кроме того, в расчете учитываются почвенно-агрохимические условия, предшественник, вид и количество органических удобрений, применяемых под текущую и предшествующие культуры, типы и гранулометрический состав почв, запасы в них подвижного фос­фора, калия гумуса, а также биологические особенности культур.

Информационной базой компьтерных программ служит банк данных, включающий результаты полевых опытов с удобрениями в различных почвенно-климатических зонах, результаты агрохимического обследования почв, параметры выноса элементов питания урожаем и качества продукции. Если в банке данных нет достаточного объема информации по предпочтительному методу расчета, то программы обеспечивают расчет доз удобрений на основании нормативных затрат на единицу урожая. Рассчитанные дозы удобрений корректируют в зависимости от основных факторов, которые прямо или косвенно влияют на эффективность удобрений (эродированность почв, удобренность и качество предшественника, сортовые особенности культур и т.д.). Программы включают также блоки, позволяющие определить баланс питательных веществ в хозяйстве и в севообороте, и в зависимости от этого провести корректировку доз минеральных удобрений и рационально распределить удобрения по способам внесения с учетом требований к качеству получаемой продукции. Это позволяет перейти к дифференцированному распределению удобрений по полям и севооборотам, а также целенаправленному регулированию почвенного плодородия.

Компьютерные программы постоянно совершенствуются с учетом новых знаний в области плодородия почв, питания растений, технологии возделывания сельскохозяйственных культур.

**Учет плодородия почв сельскохозяйственных угодий при разработке рекомендаций по прменению удобрений**

Основным условием стабильного развития агропромышленного комплекса России и источником расширения сельскохозяйственного производства является сохранение, воспроизводство и рациональное использование плодородия земель сельскохозяйственного назначения. Плодородие почвы составляет особую производственную силу земли, существенно влияющую на производительность труда в земледелии и себестоимость растениеводческой продукции.

По агрохимическим показателям пахотные земли России в среднем всегда характеризовались как мало- и среднепродуктивные, нуждающиеся в постоянном окультуривании. Ситуация с состоянием плодородием почв в отдельных регионах и в целом по стране во многом определяет уровень продуктивности в сельском хозяйстве. Большая часть урожая в современном экстенсивном земледелии формируется за счет мобилизации почвенного плодородия без компенсации выносимых с урожаем элементов питания, что приводит к отрицательному балансу питательных веществ и потерям гумуса. Вынос питательных элементов из почвы с урожаем сегодня в 4-8 раз превышает их поступление в почву с удобрениями.

В растениеводстве более 70% сельхозтоваропроизводителей используют экстенсивные технологиям, в которых практически не используются достижения науки, передового отечественного и зарубежного опыта, не привлекаются в должной мере средства интенсификации (минеральные удобрений и др.), используются машины старых поколений. В таких технологиях не применяются качественные семена лучших районированных сортов, минеральные удобрения вносятся в ограниченных объемах, в основном в виде урезанных стартовых доз, защитные мероприятия против болезней и вредителей редки даже в чрезвычайных ситуациях. Величина урожая зависит в основном от уровня естественного плодородия почв и складывающихся погодных условий. Все это не позволяет обеспечить хозяйствам устойчивую прибыль, они остаются низко рентабельными или убыточными, а плодородие почв снижается.

Ограниченная группа хозяйств (примерно 10-15%) использует технологии интенсивного типа, обеспечивающие оптимальный уровень минерального питания растений и грамотное применение химических средств их защиты от вредителей, болезней, сорняков и полегания. Большинство этих хозяйств расположено в таких зонах интенсивного производства зерна как Северный Кавказ, Республика Татарстан, Центрально-Черноземная зона и др. На долю подобных хозяйств приходится производство почти трети всей продукции растениеводства. Применяемые современные сорта растений, нормированное внесение удобрений (прежде всего в процессе вегетации), выполнение комплекса защитных мероприятий, использование высокотехнологичной техники позволяют хозяйствам обеспечивать самодостаточную экономическую деятельность благодаря повышенной урожайности сельскохозяйственных культур и сохранении плодородия почв.

Обобщение результатов агрохимического обследования почв сельхозугодий, локального агроэкологического мониторинга агрохимической службы и длительных полевых опытов Географической сети опытов с удобрениями выявило две основные тенденции в изменении почвенного плодородия:

- медленное, но постоянное снижение содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия (скорость эти процессов отличается в разных регионах, но направленность везде отрицательная);

- движение границы кислых почв на юг в зону распространения наиболее ценных в хозяйственном отношении почв – черноземов.

Органическое вещество почвы и гумус, как его составляющая часть, является важным показателем, определяющим генезис и потенциальное плодородие почв. Запасы органического вещества почвы играют решающую роль в воспроизводстве плодородия почвы. Материалы агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий свидетельствуют о том, что за годы интенсивной химизации (1970-1990 гг) наблюдалось снижение площадей пашни с низким содержанием гумуса. С 90-х годов идет обратный процесс - увеличение площадей с низким содержанием гумуса, особенно в южных природно-сельскохозяйственных зонах.

Результаты обследования и данные локального агроэкологического мониторинга показывают, что средневзвешенное содержание органического вещества в пахотных почвах в целом по Российской Федерации составляет 4,1%. Преобладают пахотные почвы со средним содержанием органического вещества 2-4% (39,1 млн га) и 4-6% (30,5 млн га), что составляет, соответственно, 37,1% и 28,9% от обследованной площади. Пахотные земли с содержанием органического вещества менее 2,0% преобладают в Северо-Западном (21,4%) и Центральном (22,6%) федеральных округах, где большая часть пашни расположена в зоне подзолистых и дерново-подзолистых почв.

В динамике содержания органического вещества за период с 1980 по 2015 годы произошло увеличение площадей с очень низким и низким содержанием гумуса, соответственно, на 1,8 и 4,4% (табл.19) .

Таблица 19.

Динамика распределения пахотных земель

 с различным содержанием гумуса

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **1980-1985 гг.** | **1986-1990 гг.** | **1991-1995гг.** | **1996-2000 гг.** | **2001-2005гг.** | **2006-2015 гг.** |
| **Очень низкое** | **1,9** | **4,7** | **3,9** | **4,6** | **3,7** | **3,8** |
| **Низкое** | **20,2** | **19,6** | **26,1** | **24,3** | **24,6** | **24,5** |
| **Среднее** | **33,8** | **33,8** | **36,1** | **37,1** | **38,7** | **38,6** |
| **Повышенное** | **27,9** | **27,5** | **21,4** | **22,7** | **24,2** | **24,5** |
| **Высокое** | **10,7** | **9,9** | **7,9** | **7,7** | **7,2** | **7,1** |
|  **Очень высокое** | **5,5** | **4,5** | **4,6** | **3,6** | **1,6** | **1,4** |

На большей части Европейской территории России (ЕТР) кислотность является главным фактором, ограничивающим урожай. В северной зоне ЕТР естественные почвы с кислой реакцией составляли до 80%, в центральной – до 45%. За годы интенсивной химизации за счет периодического известкования в дозах площади почв с рН ниже 5,0 снизились до 20%. В настоящее время в целом по России объемы известкования уменьшились более чем в 10 раз. В связи с этим темпы снижения площадей кислых почв сократились, а для отдельных областей стала актуальной проблема подкисления. Особенно высок удельный вес кислых почв (свыше 70,0%) в Республике Коми, Кировской, Тамбовской, Орловской, Пензенской и Пермской областях.

Снижение объемов известкования почв привело к тому, что повышенная кислотность опять стала лимитирующим фактором получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур. По нашим прогнозам в течение следующих 10 лет без применения известковых удобрений средневзвешенное значение рН на Европейской территории распространения кислых почв снизится на 0,2-0,4 ед.

Современная агротехника - это не только высокие урожаи. Они лишь прямое следствие комплексного подхода в научно обоснованном земледелии, когда во главу угла ставится забота о состоянии почвы-основного производственного ресурса. Высокие урожаи последних лет, к сожалению, сопровождаются низким качеством зерна, пониженной сахаристостью сахарной свеклы или масличности подсолнечника.

Определение эффективного плодородия почв имеет важное значение при планировании экономически целесообразного уровня урожайности сельскохозяйственных культур и формировании последовательности агрохимических мероприятий на конкретном поле. Для этих целей можно использовать «Нормативы оценки урожайности зерновых культур, сахарной свклы, льна-долгунца, картофеля и эффектиности удобрений на основных почвах России», зональные нормативы окупаемости или нормативы прибавки урожая основных сельскохозяйственных культур, дифференцированных по степени обеспеченности почв азотом и подвижными формами фосфора и калия, методология разработки которых предложена ВНИИ агрохимии им. Д.Н.Прянишникова.

В отличии от ранее разработанных нормативов, последние привязаны к основным типам (подтипам) почв и дифференцированы по их агрохимическим характеристикам. При этом дифференциация выполнена не отдельно по каждом из агрохимических показателей, а в их взаимосвязи. В качестве примера в таблице 10 приведены нормативы по озимой пшенице для дерново-подзолистых почв Центрального федерального округа. Дифференциация проведена по содержания минерального азота, подвижных форм фосфора и калия в почве, величины рHKCl и учитывает изменения урожайности сельскохозяйственных культур, сопряженные с изменениями агрохимических характеристик почв.

Агрохимические характеристики почв оказывают существенное влияние на эффективность минеральных удобрений. Зачастую их действие на урожайность сельскохозяйственных культур намного превосходит генетические свойства почвенного покрова и это следует учитывать при разработке рекомендаций по комплексному применению средств химизации.

Так, из данных табл.19 видно, что только за счет вариации агрохимических характеристик почв урожайность озимой пшеницы изменяется в 4,5 раза даже при одном значении рН.

Так, эффективность азотных удобрений в значительной мере зависит от содержания минерального азота в почве и чем выше содержание минерального азота, тем ниже эффективность азотных удобрений. Эффективность азотных удобрений растет при увеличении содержания подвижных фрм фосфора и калия в почве. Эффективность фосфорных удобрений зависит в первую очередь от уровня содержания подвижных фосфатов в почве. При оптимизации условий фосфатного питания в процессе окультуривания почв урожайность сельскохозяйственных культур растет, ноприбавка урожая от фосфорных удобрений падает. Аналогично рост содержания подвижных форм калия в почве влечет за собой прирост урожайности и снижает эффективность калийных удобрений.

Таблица 20.

**Нормативы прибавки урожая озимой пшеницы на дерново-подзолистых почвах (pHKCl <5.5)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Содержание в почве, мг/кг** | **Урожайность****без удобрений, ц/га** | **Дозы азотных удобрений, кг/га N** |
| **P2O5** | **K2O** | **30** | **60** | **90** | **120** | **150** |
| **Содержание минерального азота в почве < 5 мг/кг** |
| <50 | <80 | 7,3 | 5,2 | 6,0 | 6,2 | 5,6 | 4,4 |
| 81-120 | 9,7 | 6,4 | 7,3 | 7,4 | 6,8 | 5,6 |
| >120 | 12,1 | 6,8 | 7,6 | 7,8 | 7,3 | 5,9 |
| 51-100 | <80 | 9.3 | 7.2 | 8.3 | 8.6 | 8.3 | 7.2 |
| 81-120 | 11.2 | 8.4 | 9.5 | 9.8 | 9.5 | 8.4 |
| >120 | 13.6 | 8.8 | 9.9 | 10.2 | 9.9 | 8.8 |
| >100 | <80 | 12.2 | 7.4 | 8.5 | 9.1 | 9.4 | 9.1 |
| 81-120 | 14.1 | 8.6 | 9.7 | 10.3 | 10.6 | 10.3 |
| >120 | 16.5 | 9.0 | 10.1 | 10.8 | 11.0 | 10.8 |
| **Содержание минерального азота в почве 5.1-10 мг/кг** |
| <50 | <80 | 10.2 | 4.7 | 5.5 | 5.6 | 5.1 | 4.0 |
| 81-120 | 12.9 | 5.8 | 6.6 | 6.7 | 6.2 | 5.1 |
| >120 | 16.2 | 6.2 | 6.9 | 7.1 | 6.6 | 5.4 |
| 51-100 | <80 | 13.0 | 6.5 | 7.5 | 7.8 | 7.5 | 6.5 |
| 81-120 | 15.7 | 7.6 | 8.6 | 8.9 | 8.6 | 7.6 |
| >120 | 19.1 | 8.0 | 9.0 | 9.3 | 9.0 | 8.0 |
| >100 | <80 | 17.0 | 6.7 | 7.7 | 8.3 | 8.5 | 8.3 |
| 81-120 | 19.7 | 7.8 | 8.8 | 9.4 | 9.6 | 9.4 |
| >120 | 23.1 | 8.2 | 9.2 | 9.8 | 10.0 | 9.8 |
| **Содержание минерального азота в почве** >**10 мг/кг** |
| <50 | <80 | 14.6 | 3.8 | 4.4 | 4.5 | 4.1 | 3.2 |
| 81-120 | 18.4 | 4.7 | 5.3 | 5.4 | 5.0 | 4.1 |
| >120 | 23.2 | 5.0 | 5.6 | 5.8 | 5.3 | 4.4 |
| 51-100 | <80 | 18.5 | 5.3 | 6.1 | 6.3 | 6.1 | 5.3 |
| 81-120 | 22.5 | 6.2 | 7.0 | 7.2 | 7.0 | 6.2 |
| >120 | 27.2 | 6.5 | 7.3 | 7.5 | 7.3 | 6.5 |
| >100 | <80 | 24.3 | 5.4 | 6.2 | 6.7 | 6.9 | 6.7 |
| 81-120 | 28.2 | 6.3 | 7.1 | 7.6 | 7.8 | 7.6 |
| >120 | 33.0 | 6.6 | 7.5 | 7.9 | 8.1 | 7.9 |

Снижение уровня кислотности почв после их известкования в 2,5 раза повышает использование азота из минеральных удобрений, способствует лучшему усвоению фосфатов удобрений и снижает удельные затраты на формирование урожая культур севооборота.

В Южном федеральном округе на предкавказских черноземах, особено на черноземах Кубани, озимая пшеница довольно хорошо отзывается на внесение фосфорсодержащих удобрений, но при этом четко прослеживается зависимость прибавки урожая от уровня содержания подвижных фосфатов в почве. Для каштановых почв установлена аналогичная зависимость прибавки урожая озимой пшеницы от уровня рН и содержания подвижных фосфатов (табл.21), и это следует учитывать при формировании интегрированного применения средств химизации.

Таблица 21.

**Прибавка урожая озимой пшеницы от фосфорных удобрений в зависимости от рН и содержания подвижных фосфатов в каштановой почве**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **рН. ед.рН** | **Содержание подвижных фосфатов в почве, мг/кг** | **Дозы фосфорных удобрений, кг/га Р2О5** |
| <7.0  | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 |
| **Прибавки урожая, ц/га** |
| <15 | 3.7 | 4,1 | 4,3 | 4,3 | 4,3 |
| 16-30 | 2.5 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 2,9 |
| 31-45 | 2.1 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | 2,4 |
| >45 | 1.9 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,2 |
| 7.0-8.0 | <15 | 2.8 | 3,1 | 3,3 | 3,3 | 3,3 |
| 16-30 | 1.5 | 1,7 | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| 31-45 | 1.2 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,3 |
| >45 | 0.9 | 1,0 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| >8.0 | <15 | 2,2 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,6 |
| 16-30 | 1,0 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| 31-45 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| >45 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |

При разработке системы удобрения в хозяйстве и севооборотах необходимо учитывать уровень интенсификации производства в зависимости от плодородия почв и производственно-ресурсного потенциала сельскохозяйственного товаропроизводителя.

Приоритетное значение имеют освоение зональных и входящих в них адаптивно-ландшафтных систем земледелия для рационального использования природно-ресурсного потенциала.

К настоящему времени разработаны агротехнологии возделывания зерновых культур, обеспечивающими получение урожая 4–5 т/га на окультуренных почвах практически в любом регионе европейской части Российской Федерации**.** Но окультуривание почв - процесс медленный и продолжительный, а интенсивные технологии обеспечивают планируемую продуктивность севооборота только на окультуренных почвах. Об этом свидетельствуют результаты длительного (36 лет, 6 ротаций севооборота) опыта на ЦОС ВНИИ агрохимии им.Д.Н.Прянишникова, заложенного на низкоплодородной, неокультуренной дерново-подзолистой и тяжелосуглинистой почве с исходной урожайностью около 1,1 т/га зерна (без известкования и применения удобрений).

За первую ротацию 6-польного севооборота под влиянием известкования и применения удобрений его продуктивность увеличилась до 2,8 т/га. Известкование проводили дважды - в первой и во второй ротации севооборота. По мере окультуривания почвы продуктивность продолжала возрастать и в шестой ротации достигла 4,8 т/га, а при использовании пестицидов - 6,0 т/га.

В Российской Федерации есть крупные регионы, в том числе Западная и Восточная Сибирь, где применяют минеральные удобрения в очень малых дозах (не более 10-20 кг/га д. в), используя в основном только локальные почвенно-климатические ресурсы. Здесь средняя урожайность зерновых составляет 1,1–1,2 т/га. В то же время в опытном хозяйстве этого СибНИИСХОЗа в северной лесостепи Новосибирской области средняя урожайность яровой пшеницы достигала 3,6–4,4 т/га, а при использовании средств защиты от болезней, вредителей и ретардантов – 4,5-5,1 т/га.

**Биологический азот и продуктивность севооборотов**

В современных условиях при решении проблемы азота в земледелии исключительно важная роль принадлежит биологическому азоту, фиксируемому бобовыми растениями в симбиозе с клубеньковыми бактериями, а также свободноживущими и ассоциативными почвенными микроорганизмами. Максимально возможное использование биологического азота в севообороте за счет симбиотической азотфиксации многолетними бобовыми травами, промежуточными, уплотняющими и пожнивными посевами бобовых сидератов, зерновыми бобовыми культурами и бобовыми компонентами парозанимающих или самостоятельных посевов однолетних бобово-злаковых смесей - важное условие улучшения баланса азота в земледелии, повышения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур при использовании интенсивных агротехнологий.

В среднем размеры азотфиксации свободноживущими и ассоциативными азотфиксирующими микроорганизмами в оптимальных для их жизнедеятельности условиях составляют до 15—20 кг/га атмосферного азота. Их вклад в приходную статью баланса азота в земледелие России в сочетании с азотом семян и атмосферных осадков может быть сопоставим с количеством азота, теряющегося из почвы за счет эрозии и вымывания нитратов.

Самый действенный путь увеличения поступления биологического азота в почву — расширение посевов и повышение урожайности бобовых многолетних трав и зернобобовых, однолетних бобово-злаковых трав, увеличение доли бобовых в смешанных травостоях. Севообороты с клевером, другими многолетними бобовыми и бобово-злаковыми травами - главное средство повышения урожайности зерновых и других культур в различных почвенно-климатических зонах. Эффективность таких севооборотов на малоплодородных и малоокультуренных почвах проявляется в полной мере только при известковании кислых почв и использовании фосфорно-калийных удобрений.

Улучшить азотное питание многолетних злаковых трав и других небобовых культур способны ассоциативные азотфиксаторы. Эти микроорганизмы, размещаясь в корневой зоне растений, в благоприятных условиях могут обеспечить до 45% потребности растений в азоте. В результате изучения деятельности ассоциативных азотфиксаторов на разных типах почв выявлены географические особенности азотфиксации и ее масштабы в основных биоклиматических зонах. В почвах тундровой зоны установлена очень низкая активность азотфиксации – 0,5 – 1,5 кг/га в год, в подзолистых почвах таежной зоны – от 2,7 до 4,9 кг/га азота. При этом под сосновым лесом уровень фиксации азота был выше и составил от 12 до 23 кг/га. В зоне умеренного климата на дерново-подзолистой почве размеры ассоциативной азотфиксации составили от 18 до 40 кг/га.

Ассоциативная азотфиксация протекает с той или иной скоростью во всех почвах в прикорневом пространстве или на корнях растений самых различных мест обитания. В почвах зоны умеренного климата ассоциативная азотфиксация выявлена в ризосфере многих зерновых культур, многолетних трав, сенокосов и пастбищ, пропашных и других культур. Однако размеры ассоциативной азотфиксации небобовых культур различны. Активность ассоциативной азотфиксации в почве зависит от вида растений и наличия легкодоступного энергетического материала в прикорневой зоне. Оптимизация доз азотных удобрений с учетом свойств почвы, биологических особенностей растения и экологии ассоциативной азотфиксации может позволить увеличить долю биологического азота в урожае и более экономно расходовать минеральные удобрения.

**Система удобрения основных сельскохозяйственных культур**

***Озимые зерновые культуры***

Озимые зерновые культуры дают устойчивые урожаи в основных районах возделывания и отличаются высокой отзывчивостью на применение удобрений. Озимая пшеница - ведущая зерновая культура на Кубани, Северном Кавказе и в Центрально-Черноземной зоне. Значительно расширены площади под озимой пшеницей в Поволжье, а также в Нечерноземной зоне, где на известкованных почвах при соблюдении правильной агротехники и внесении удобрений она может давать высокие урожаи. Основные площади озимой ржи сосредоточены в Нечерноземной зоне на дерново-подзолистых и серых лесных почвах, а также на выщелоченных и оподзоленных черноземах.

Озимая пшеница более требовательна к плодородию почв. Озимая рожь может с успехом расти на менее плодородных почвах с рНKCl – 5,5-6,0. Она лучше, чем другие зерновые культуры, усваивает питательные вещества из труднорастворимых соединений. Озимое тритикале по своим биологическим особенностям занимает промежуточное положение между озимой рожью и пшеницей.

Самыми ответственными периодами в питании озимых культур являются 2 периода:

* от всходов до ухода посевов в зиму;
* весной в начале возобновления вегетации.

В первый период озимые культуры предъявляют повышенные требования к фосфорно-калийному питанию, которое способствует мощному развитию корневой системы и кущению, накоплению сахаров, что важно для хорошей перезимовки. В этот период озимые должны быть умеренно обеспечены азотом, так как повышенное азотное питание понижает устойчивость растений к перезимовке. Успешной перезимовке способствует внесение органических удобрений.

При отрастании ранней весной озимые нуждаются в усиленном азотном питании, так как в это время запасы минерального азота еще невелики. Однако при избыточном азотном питании в этот период растения сильно кустятся, чрезмерно развивается вегетативная масса (в ущерб формированию репродуктивных органов). Такие растения больше предрасположены к полеганию и поражению болезнями.

Озимые зерновые потребляют максимальное количество питательных веществ в фазе выхода в трубку, а заканчивается их поступление в растения, как правило, к фазе цветения.

Система удобрениядля озимых зерновых, как правило, трехчленная, включающая основное, припосевное удобрение и подкормки. С точки зрения применяемых видов удобрений она может быть минеральной или органоминеральной. Последняя предполагает внесение под вспашку подстилочного навоза в дозе 30-40 т/га, бесподстилочного – 40-50 т/га.

Дозы минеральных удобрений рассчитывают с использованием компьютерных программ или определяют по рекомендациям региональных научных учреждений. Формирование урожайности зерна на уровне 40-70 ц/га при низкой обеспеченности почвы фосфором и калием связано с необходимостью применения довольно высоких доз удобрений, что значительно повышает себестоимость производства зерна. Это связано с большим риском из-за возможного негативного влияния неблагоприятных погодных условий.

Фосфорные и калийные удобрения под озимые зерновые вносят до сева под основную обработку почвы.

В начальный период роста озимых очень важно обеспечить растения водорастворимыми удобрениями в зоне развития корневой системы, поэтому обязательным приемом должно быть припосевное внесение фосфора в дозе 10-15 кг/га д.в. Внесение фосфора в рядки усиливает питание в начальный период, способствует лучшему укоренению озимых зерновых. Подкормки фосфорными и калийными удобрениями нецеле­сообразны из-за низкой их эффективности. Возможно проведение подкормки озимых зерновых калием в дозе 40-60 кг/га на почвах легкого гранулометрического состава при мягкой дождливой зиме или недостаточном внесении калийных удобрений в основное внесение.

Формирование высоких урожаев зерна в большой степени определяется системой применения азотных удобрений. Для получения урожайности озимых зерновых 40-50 ц/га азотные удобрения вносят в три-четыре срока: до посева (при необходимости), в начале возобновления весенней вегетации, в стадию выхода в трубку, а на пшенице и в начале стадии колошения.

При формировании высокопродуктивных посевов (урожайность зерна 60 ц/га и выше) необходима большая доза азота. Поэтому в стадию флагового листа на посевах озимых зерновых проводят еще одну подкормку. До посева азотные удобрения рекомендуется вносить в дозе 15-20 кг/га д.в. следующих случаях:

– при размещении озимых зерновых после небобовых предшественников;

– на почвах с низким содержанием гумуса (на суглинистых – менее 2%, супесчаных – менее 1,8%);

– если органические удобрения не вносились ни под предшественник, ни под саму культуру;

В остальных случаях азотные удобрения не применяются.

*Первую подкормку* азотными удобрениями весной проводят в начале возобновления активной вегетации растений, когда среднесуточная температура воздуха превысит +5оС и появятся молодые корешки. Цель первой ранневесенней подкормки азотом заключается в том, чтобы ускорить отрастание посевов, усилить мощность кущения растений. Провести ее надо в максимально сжатые сроки (не более чем за 10 дней), т.к. при поздних сроках подкормки на боковых побегах сформируется укороченный колос, который не даст полноценного зерна или не успеет созреть к началу уборки. Рекомендуемая доза азота для первой ранневесенней подкормки озимых зерновых – 60-70 кг/га, лучшей формой азотных удобрений является КАС (без разбавления), что позволяет внести азот по поверхности поля с максимальной равномерностью. При этом при активной вегетации растений азот, внесенный в форме КАС, усваивается растениями быстрее (в течение 2-6 часов), чем при использовании традиционных твердых форм азотных удобрений.

*Вторая подкормка* проводится в стадию первого узла (над поверхностью почвы начинает прощупываться первый узел). В эту стадию закладывается основной потенциал урожайности озимых зерновых культур (длина колоса, число зерен в колосе, масса зерна одного колоса). Рекомендуемая доза азота для второй подкормки 35-40 кг/га. При планировании средних уровней урожайности в эту фазу можно применятьь КАС в разведении 1:3. При планировании высокой урожайности необхо­димо учесть, что условием формирования урожая является как можно большая продолжительность работы листового аппарата растений. Чем больше продолжается фотосинтетическая деятельность листьев, тем выше будет окупаемость удобрений и конечный урожай. Поэтому после начала трубкова-ния следует избегать ожогов листового аппарата, осторожно от­носится к применению КАС и отдавать предпочтение твердым формам азотных удобрений – аммиачной селитре, мочевине.

*Третья подкормка* в стадию последнего (флагового) листа планируется для получения высоких урожаев (более 60 ц/га). Оптимальная доза азота в этот период составляет 20-25 кг/га. Формы удобрений: аммиачная селитра, мочевина, КАС.

*Четвертая подкормка* проводится на озимой пшенице в начале колошения для улучшения качества зерна. Рекомендуемая доза азота 10-20 кг/га. В эту подкормку лучше всего использовать 10-15% раствор карбамида. В раствор карбамида можно добавлять небольшое количества сульфата аммония (5-10 кг/га), т.к. содержащаяся в нем сера способствует увеличению количества белка в зерне.

Получение высоких уровней урожайности озимых зерновых на фоне высоких доз азотных удобрений возможно при внесении ретардантов и должно сопровождаться активной химической защитой растений.

Из микроэлементов наибольшее значение для озимых зерновых культур имеют медь и марганец. Применение марганца оправдано, если значение обменной кислотности больше 6,0. Для средних уровней урожайности необходимо планировать проведение одной некорневой подкормки в стадию первого узла. Для высокопродуктивных посевов (50 ц/га и выше) рекомендуется двукратная некорневая подкормка – в начале активной вегетации весной или в стадию первого узла и в стадию флагового листа или в начале колошения. Наряду с простыми микроудоб­рениями (сульфатом меди и сульфатом марганца) эффективно использование жидких и твердых форм микроудобрений, содержащих микроэлементы в форме хелатных соединений. Технологическая схема интегрированного применения минеральных удобрений под озимые зерновые представлены в табл.22.

Таблица 22.

**Технологическая схема интегрированного применения минераль­ных удобрений под озимую пшеницу на окультуренных почвах**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Дозы удобрений** | **Формы удобрений** | **Сроки применения** |
| N15-20Р40-50К120-140 | аммофос, диаммофос, хлористый калий,  | до посева |
| N60-70 | КАС, карбамид, | весной в начале вегетации |
| N30-40 | карбамид | в фазе начала выхода в трубку  |
| Cu-Mn | сульфат меди и суль­фат марганца  | некорневые подкормки: в стадии первого узла в баковой смеси с ретардан­том и фунгицидом и до­бавлением карбамида – 10-15 кг на 200 л рабочего раствора |

***Яровые зерновые культуры***

Основные площади возделывания яровой пшеницы сосредоточены в засушливых восточных районах страны - Поволжье, на Урале, в Западной и Восточной Сибири. Остальные площади посева этой культуры расположены в регионах Центрального и Приволжского округов. Яровая пшеница - важнейшая продовольственная культура, на ее долю приходится до половины валового сбора зерна в стране. В зерне яровой пшеницы много белка (16–18%, а в засушливых районах свыше 20%), оно обладает высокими мукомольными и хлебопекарными качествами.

У яровых зерновых культур (пшеница, ячмень, тритикале, овес) период вегетации короткий. Яровые зерновые потребляют элементы питания в более сжатые сроки, т.е. отличаются высокой интенсивностью поглощения элементов питания.

Яровые зерновые по-разному относятся к условиям произрастания. Более требовательны к уровню плодородия почвы ячмень и пшеница. Менее требовательной культурой к плодородию почвы и предшественнику является овес. Поэтому в севообороте его обычно размещают в последнем поле.

Наибольшую потребность в азоте яровые испытывают в период от начала кущения до выхода в трубку, за это время они поглощают около 40% от потребляемого за весь вегетационный период азота. Недостаток азота в этот период приводит к нарушению формирования генеративных органов и снижению урожайности.

Критическим периодом фосфорного питания яровых зерновых является начальный период роста. Обеспеченность фосфором яровых зерновых в этот период способствует росту корневой системы, формированию крупного колоса, раннему созреванию растений. Фосфорные удобрения дают меньшую прибавку урожая, чем азотные, но без них растения хуже развиваются.

Наибольшее количество калия яровые культуры потребляют в первые периоды роста. Более высокая эффективность калийных удобрений отмечается при низкой обеспеченности почв обменным калием.

Поглощение питательных элементов у яровых зерновых за­канчивается в основном к периоду колошение-цветение.

Азотные удобрения при возделывании яровых зерновых на минеральных почвах вносят в три приема: N60-70 весной под предпосевную культивацию (основное внесение), N20-40 – в стадию 1 узла (подкормка) и N15-20 – в стадию колошения (некорне­вая подкормка яровой пшеницы). При планировании высоких урожаев яровой пшеницы (50-60 ц/га и более) необходимо внесение 20-25 кг/га азота в стадию флагового листа. Получение высоких урожаев яровых зерновых возможно при внесении ретардантов.

Если расчетные дозы азотных удобрений не превышают 60-70 кг/га, то их целесообразно вносить в один прием под предпосевную культивацию.

Доза для подкормки может скорректирована в зависимости от содержания азота в растениях на основании данных растительной диагностики.

Система удобрения под яровые зерновые минеральная: основное, припосевное внесение и при необходимости подкормка.

Из азотных удобрений до сева применяют любые формы удобрений, лучшей из которых является КАС, которая позволяет внести азот с максимальной равномерностью. В подкормку в стадию 1-го узла используют карбамид, КАС. Позднюю азотную некорневую подкормку в начале колошения яровой пшеницы рекомендуют проводить 10% раствором карбамида. В раствор можно добавить сульфат аммония (5-10 кг/га по массе).

Фосфорные и калийные удобрения следует вносить осенью с заделкой под зяблевую вспашку, культивацию или весной под предпосевную культивацию.

Практика показала высокую эффективность комплексных удобрений с микроэлементами, выпускаемых АО «ОХК «Уралхим». Так, водорастворимое удобрение Старт с повышенным содержанием фосфора стимулирует развитие корневой системы на начальных стадиях роста, обеспечивает высокий уровень усвоения питательных веществ, улучшение процессов обмена веществ и тем самым способствует формированию урожая зерновых. Марка Универсал (18-18-18 с добавками солей магния и микроэлементов или 19-19-19 с добавкой только микроэлементов) эффективна в периоды когда растения испытываают стрссовые нагрузки (засуха, избыточное увлажнение, повреждение вредителями и болезнями и др.)

Для обеспечения яровых зерновых культур фосфором в критический период при наличии комбинированных сеялок вносят 10-20 кг/га фосфора в рядки при посеве. Лучшими формами удобрения являются аммофос и диаммофос.

Эффективным приемом при возделывании яровых зерновых культур является некорневая подкормка медью, а на почвах с рН более 6,0 – и марганцем. Оптимальные сроки проведения некорневой подкормки - стадия 1 и 2 узла, доза - 50 г/га меди и марганца. Их следует совмещать с химической прополкой посевов или некорневой подкормкой азотом. В качестве микроудобрений можно использовать минеральные соли микроэлементов и их хелатные соединения. Технологическая схема применения минеральных удобрений под яровую пшеницу приведена в табл.23.

Таблица 23.

**Технологическая схема применения минеральных удобрений**

 **под яровую пшеницу для зоны достаточного увлажнения**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Дозы удобрений** | **Формы удобрений** | **Сроки применения** |
| N60Р60-90К90-120 | карбамид или КАС, аммофос, диаммофос, хлористый калий | до посева |
| N30 | карбамид | подкормка в фазу первого узла |
| N30 | карбамид | подкормка в фазу послед­него листа |
|   | сульфат меди,суль­фат марганца  | некорневая подкормка в фазу первого узла с до­бавлением карбамида (10 кг/га), или КАС (10 л/га), расход рабочего раствора – 200 л/га |
| Регулятор роста |   | опрыскивание посевов в фазу появления флагового листа, расход рабочего раствора – 200 л/га |

Примерные дозы минеральных удобрений под яровые колосовые культуры для зоны Поволжья, Урала и Сибири (континентальный климат, традиционно низкий уровень применения удобрений) приведены в табл. 24.

Таблица 24.

**Рекомендуемые дозы минеральных удобрений под яровую пшеницу, возделываемую во интенсивной технологии**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Природно–сельскохозяйственная зона, регион** | **Общая доза удобрений** | **Основное внесение, кг/га д.в.** | **Припосевное****(рядковое) внесение Р2O5** |
| **N** | **Р2O5** | **K2O** |
| *По чистому пару* |
| Степная зона: |  |  |  |  |  |
| Поволжье | 50–60 | – | 40–50 | – | 10 |
| Урал | 50–70 | – | 30–40 | 10–20 | 10 |
| Сибирь | 70–90 | – | 50–60 | 10–20 | 10 |
| Сухостепная зона: |  |  |  |  |  |
| Поволжье | 40–50 | – | 30–40 | – | 10 |
| Урал | 30–40 | – | 20–30 | – | 10 |
| Сибирь | 50–60 | – | 40–50 | – | 10 |
| *Вторая культура после пара* |
| Степная зона: |  |  |  |  |  |
| Поволжье | 50–60 | 20–30 | 20–30 | – | 10 |
| Урал | 80–110 | 30–40 | 30–40 | 10–20 | 10 |
| Сибирь | 90–120 | 30–40 | 30–40 | 20–30 | 10 |
| Сухостепная зона: |  |  |  |  |  |
| Поволжье | 50–70 | 20–30 | 20–30 | – | 10 |
| Урал | 50–70 | 10–20 | 30–40 | – | 10 |
| Сибирь | 60–80 | 20–30 | 30–40 | 10–20 | 10 |

***Сахарная свекла***

Сахарную свеклу выращивают в различных почвенно-климатических зонах страны, но основные площади посевов фабричной сахарной свеклы сосредоточены в Центрально-Черноземном регионе России.

Для сахарной свеклы оптимальная реакция почвы близка к нейтральной или слабощелочной (рН 6,5–7,5). Поэтому даже слабокислые серые лесные и дерново-подзолистые почвы необходимо известковать. Так как при известковании снижаются подвижность и доступность растениям бора почвы, целесообразно применение под сахарную свеклу борсодержащих удобрений. Недостаток бора вызывает у сахарной свеклы, как и у других корнеплодов, гниль сердечка - заболевание, полностью устраняемое внесением бора.

Сахарная свекла обладает длительным вегетационным периодом и способна накапливать большое количество питательных веществ. Поэтому сахарная свекла предъявляет высокие требования к условиям произрастания.

Оптимальные агрохимические показатели: реакция почвенной среды близкая к нейтральной (рН в KCI 6,0-6,8), содержание гумуса не менее 1,8%, подвижного фосфора и калия не менее 150 мг/кг почвы, бора не менее 0,7 мг/кг. Свекла поглощает питательные вещества на протяжении всего вегетационного периода. В начальный период роста она поглощает относительно небольшое количество азота, фосфора и калия. В дальнейшем потребление элементов питания резко усиливается и достигает максимума во время интенсивного листообразования и в начале роста корнеплодов. Сахарная свекла – калиелюбивое растение. Она хорошо переносит хлорсодержащие калийные удобрения и положительно отзывается на натрий, который способствует оттоку углеводов в корнеплоды. Эта культура потребляет также много микроэлементов. В первую очередь сахарная свекла нуждается в боре, особенно на произвесткованных почвах, т.к. дефицит бора вызывает у сахарной свеклы гниль сердечка, а также снижение сахаристости и урожая корнеплодов.

Система удобрения под сахарную свеклу – органоминеральная включающая основное внесение органических и минеральных удобрений, припосевное – фосфорных или комплексных (NРК), а также подкормку азотными и микроудобрениями. В начале роста сахарная свекла поглощает относительно небольшое количество азота, фосфора и калия, однако в этот пери­од она очень чувствительна к недостатку фосфора. Внесение 10-20 кг/га Р2О5 в рядки при посеве создает благоприятный пищевой режим в первые 15-20 дней после всходов. В период интенсивного роста листьев свекла потребляет много азота и калия. Для формирования корнеплодов растениям требуется умеренное азотное и усиленное фосфорное и калийное питание. Максимальное поступление элементов питания в растения свеклы отмечается в июле-августе.

Сахарная свекла отзывчива на органические удобрения. Она имеет продолжительный период вегетации и хорошо использует из них питательные вещества. Для свеклы лучше использовать подстилочный навоз или торфо-навозные компосты весенне-летней заготовки после 4-5 месячного хранения в уплотненных буртах. Вносить их нужно с осени под зяблевую вспашку в дозах от 40 до 80 т/га.

Наиболее эффективные из минеральных удобрений – азотные. Каждый килограмм азота способствует увеличению урожая корнеплодов на 50-60 кг. Однако с целью улучшения качества корнеплодов максимальные дозы азотных удобрений не должны превышать 130-150 кг/га. Повышенные дозы азотных удобрений рекомендуется вно­сить дробно – 100-110 кг/га д.в. в основное внесение и 35-40 кг/га д.в. в подкормку.

Фосфорные и калийные удобрения вносят под предпосевную культивацию, на связных почвах возможно осеннее внесение фосфора и калия. В основное внесение применяют все имеющиеся в республике виды азотных и фосфорных удобрений. При этом использование аммиачной селитры характеризуется наименьшей экономической эффективностью. Подкормку азотом для предотвращения ожога листьев целесообразно про­водить твердыми формами азотных удобрений.

Лучшим способом внесения микроудобрений является некорневая подкормка борными удобрениями. При этом во время вегетации сахарной свеклы проводятся две некорневые обработки микроэлементами: первая - в фазу смыкания листьев в рядке, вторая - через 1-1,5 месяца после первой. Максимальную дозу бора рекомендуется вносить на почвах I и II групп обеспеченности этим элементом и при засушливых условиях вегетационного периода. Наличие бора в комплексном удобрении (например) позволяет удовлетворить потребность сахарной свеклы в боре в период всходов, а дальше проводятся некорневые подкормки бором в период вегетации. Две некорневые подкормки бором в фазу 10-12 листьев и повторно через 30 дней полностью удовлетворяют потребность культуры в боре.

Современные технологии возделывания сахарной свеклы предусматривают внесение комплексных удобрений при подготовке почвы к севу, что благоприятно сказывается на росте и развитии растений, урожайности и выходе сахара. При этом сокращаются затраты на внесение удобрений, обеспечивается более равномерное их распределение по площади поля в сравнении с внесением эквивалентных смесей простых (азотных, фосфорных и калийных) туков**.**

 В период вегетации сахарной свеклы проводятся некорневые подкормки микроудобрениями в фазе 10-12 листьев и через 1-1,5 месяца после первой подкормки бором – 200-300 г/га и марганцем – 50-75 г/га.

Подкормки рекомендуется проводить на почвах I и II групп обеспеченности микроэлементами, особенно эффективны подкормки микроэлементами при засушливых условиях вегетационного периода.

***Кукуруза***

В настоящее время площади возделывания кукурузы на зерно, зеленый корм и силос постоянно растут. Кукуруза обладает огромным по­тенциалом для создания высоких урожаев зеленой массы и зерна. Кукуруза – теплолюбивая культура, что в основном определяет требования к условиям произрастания. При недостатке тепла весной она очень медленно развивается в первый месяц после появления всходов. Пониженные температуры в этот период способствуют проявлению относительного голодания растений, так как кукуруза активно потребляет питательные вещества при температуре почвы на глубине 10 см более 10оС. В это время она весьма требовательна к наличию в почве легкодоступных питательных веществ.

Кукуруза не переносит кислых почв. Реакция почвенной среды для нее находится в пределах рНКСI 6,0-7,5. Почву под посев кукурузы желательно произвестковать под предшествующую культуру.

Питательные вещества кукуруза потребляет на протяжении всего периода вегетации, вплоть до наступления восковой спелости зерна. Однако наиболее интенсивное их поглощение наблюдается в период быстрого роста за сравнительно короткий промежуток времени выметывание метелок – цветения. К фазе цветения кукуруза усваивает до 60% азота, фосфора и до 80% калия от общего выноса урожаем.

Азот особенно необходим кукурузе на стадии появлении 6-7 листа, когда закладываются метелки и початки. Фосфор активно используется кукурузой после появления всходов для лучшего развития корней, а также в фазы цветения и образования зерна. Недостаток фосфора в почве задерживает рост и развитие цветков и зерен в початке. Калий необходим на протяжении всей вегетации кукурузы, недостаток его в почве способствует полеганию этой культуры, особенно в увлажненные годы. Кукуруза потребляет много серы, кальция и магния. Магний и цинк повышает урожай зерна и устойчивость кукурузы к холоду. Недостаток серы сдерживает образование белка, а меди и бора – сахаров, витамина С. При оптимальном борном питании увеличивается озерненность початка.

При возделывании кукурузы в севообороте лучшей системой удобрения является органоминеральная, включающая основное внесение минеральных и органических удобрений, припосевное – фосфора и подкормку азотом и микроэлементами.Доза подстилочного навоза под кукурузу составляет 60-80 т/га. Лучшим сроком применения является внесение его осенью под вспашку. Под кукурузу можно вносить жидкий бесподстилочный навоз в дозах, соответствующих содержанию в нем азота до 200 кг/га.

Оптимальные дозы минеральных удобрений определяют в зависимости от содержания фосфора и калия в почве и уровня планируемой урожайности.

Фосфорные и калийные удобрения на глинистых и суглинистых почвах можно вносить осенью под вспашку, на супесчаных – весной под предпосевную культивацию. Обязательным приемом является внесение фосфора в рядки при посеве.

Расчетную дозу азота до 120 кг/га вносят в один прием под предпосевную культивацию. При использовании более высоких доз азота необходимо часть азота (30 кг/га) внести в подкормку в фазу 4-6 листьев. Для подкормки лучше использовать мочевину или КАС. Подкормку кукурузы КАС необходимо проводить опрыскивателями, оснащенными волочильными шлангами, чтобы избежать ожогов растений.

Система удобрения кукурузы в севообороте несколько отличается от системы удобрения ее при повторном посеве. Так, при повторном посеве органические удобрения вносятся через год, а минеральные - ежегодно (табл. 25).

Таблица 25.

**Технологическая схема применения удобрений**

**при возделывании кукурузы**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Дозы удобрений**  | **Формы удобрений** | **Сроки использования** |
| Навоз 60-70 т/га | - | осенью под вспашку |
| N90Р60-80К120-150 | КАС или карбамид, ам­мофос, диаммофос, сульфоаммофос, хлористый калий | до посева |
| N30 | карбамид | в фазу 4-6 листьев |
| Zn150 | сульфат цинка | некорневые подкормки:в фазу 6–8 листьев. в баковой смеси с карбамидом – 10 кг на 200 л рабочего раствора |

Системы удобрения кукурузы на зерно и на силос существенно не отличаются. Однако непременным условием системы удобрения кукурузы на зерно является обязательное применение фосфорных удобрений в оптимальных дозах.

 ***Картофель***

Картофель - важнейшая продовольственная, кормовая и техническая культура. Основные площади посевов картофеля расположены в центральных и северо-западных областях европейской части России - в Нечерноземной и лесостепной зонах, наиболее благоприятных для его возделывания.

Картофель весьма требователен к почвенным условиям, что определяется его физиологическими особенностями: слаборазвитой корневой системой, ее высокой потребностью в кислороде в период интенсивного клубнеобразования. Картофель хорошо переносит повышенную кислотность почвы. Оптимальной рН почвенного раствора для него является 5,3-5,8.

Картофель поглощает питательные вещества в течение всего вегетационного периода, причем более быстрыми темпами их потребляют ранние сорта. Наибольшее количество питательных веществ поглощается картофелем во время бутонизации и цветения, т.е. в период наибольших приростов надземной массы и клубнеобразования.

Наиболее эффективной системой удобрения под картофель является органоминеральная. Доза органических удобрений в среднем составляет 50-60 т/га. Лучшими формами органических удобрений под картофель являются соломистый навоз и торфонавозные компосты. Органические удобрения вносятся осенью под зяблевую вспашку. При использовании бесподстилочного навоза дозы внесения необходимо рассчитывать с учетом содержания в нем азота. Доза азота, вносимого с бесподстилочным навозом, не должна превышать 50-80% от общей потребности картофеля в азоте. Фосфорные удобрения под картофель можно вносить как осенью под зяблевую вспашку, так и весной под культивацию или перед нарезкой гребней.

Эффективность удобрений зависит от почвенно-климатическиx условий, уровня агротехники и сорта картофеля. Наибольшие прибавки урожая картофеля от удобрений получают на дерново-подзолистых почвах западных, северо-западных и Центральных районов Российской Федерации. Первое место по эффективности на дерново-подзолистых почвах, оподзоленных и выщелоченных черноземах занимают азотные удобрения. Фосфор на этих почвах нередко действует сильнее, чем калий (табл.26 ).

Таблица 26.

 **Действие минеральных удобрений на урожай картофеля**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Почва** | **Урожаи без удобрений, ц/га** | **Прибавка урожая от элементов минерального питания, ц/га** |
| **N** | **Р2O5** | **K2O** | **NPK** |
| Дерново-подзолистая: |  |  |  |  |  |
| песчаная и супесчаная | 98 | 26 | 12 | 17 | 50 |
| суглинистая | 102 | 18 | 16 | 17 | 44 |
| Серая лесная | 159 | 48 | 10 | 9 | 73 |
| Выщелоченный чернозем | 86 | 20 | 18 | 5 | 44 |

На обыкновенных и типичных черноземах по эффективности часто на первом месте стоит фосфор, на втором - азот. Несмотря на большое потребление картофелем калия, эффективность калийных удобрений на большинстве почв ниже, чем азотных, а часто и фосфорных. Потребность в калии при внесении высоких доз азота и фосфора увеличивается. В то же время на пойменных и торфяных почвах калийные удобрения по эффективности занимают первое место после азотных, на песчаных и супесчаных дерново-подзолистых почвах - второе. На этих почвах необходимо вносить более высокие дозы калийных удобрений даже при использовании навоза.

Обязательным приемом должно быть внесение 20 кг фосфора или комплексного удобрения в дозе N10-20Р10-20К10-20 в рядки при посадке картофеля. Хлорсодержащие калийные удобрения на почвах связного гранулометрического состава необходимо вносить осенью под зяблевую вспашку, т.к. картофель является хлорофобной культурой.

Расчетные дозы азотных удобрений под картофель рекомендуется вносить весной в один прием под культивацию или перед нарезкой греб­ней. Лучшей формой азотных удобрений является сульфат аммония. На песчаных и супесчаных почвах, подстилаемых песками, часть удобрений (20-30 кг/га азота) в форме мочевины или КАС применяется в подкормку под междурядную обработку почвы при высоте куста 15-20 см. Максимально допустимой дозой азота под картофель является 120 кг/га. Внесение такой дозы азота обеспечивает уровень содержания нитратов в клубнях ниже ПДК (150 мг/кг сырой массы). Кроме того, при избытке азота отмечается сильный рост ботвы, задерживается созревание клубней, ухудшаются вкусовые качества клубней.

Из микроэлементов картофель больше всего нуждается в боре, меди и марганце. Микроудобрения вносятся на почвах I и II группы обеспеченности почвы микроэлементами в некорневую подкормку в начале бутонизации картофеля в дозах: В – 70 г/га, Сu – 50 г/га, Mn – 50 г/га. В качестве микроудобрений можно использовать минеральные формы удобрений: борную кислоту (0,4 кг/га), сульфат меди (0,2 кг/га), сульфат марганца (0,2 кг/га), а также хелатные и органоминеральные удобрения. Расход рабочего раствора – 200 л/га. Следует отметить, что при использовании микроудобрений необходимо в рабочий раствор добавить 10 кг карбамида (для лучшего усвоения микроэлементов). Некорневые подкормки картофеля микроудобрениями могут совмещаться с применением инсектицидов против колорадского жука.

***Озимый и яровой рапс***

Как озимый, так и яровой рапс предъявляют повышенные требования к плодородию почв, особенно к азотному режиму.

Озимый рапс от ярового отличается более растянутым периодом поглощения элементов питания и более высокой интенсивностью потребления элементов питания на ранних стадиях развития (фаза листообразования). В дальнейшем динамика поглощения питательных веществ рапсом яровым и озимым имеет одинаковый характер: потребление элементов продолжается до созревания семян, максимальный период по­глощения азота, фосфора и калия наблюдается в период стебле­вание-бутонизация. К фазе бутонизации рапс озимый и яровой потребляют 65-76% основных элементов питания.

Капустные отличаются высоким содержанием и потреблением серы. Поэтому при возделывании рапса на слабогумусированных легких почвах часто возникает необходимость внесения серосодержащих удобрений. Особенно важен контроль за обеспеченностью рапса серой в последние годы в связи с резким сокращением производства и применения простого суперфосфата, содержащего большое количество серы. Динамика потребления рапсом серы сопоставима с динамикой потребления азота, поэтому ее лучше вносить в дозе 30-50 кг/га вместе с азотными удобрениями, например, с сульфатом аммония, азосульфата, или сульфатсодержащими формами калийных удобрений. Возможно также использование иных форм

Степень обеспеченности рапса серой устанавливают по результатам визуальной или листовой растительной диагностики. При недостатке серы молодые верхние листья растений становятся более светлыми с мраморным оттенком, лепестки цветков приобретают светлую окраску («линяют») стручки мелкие, часто без семян.

Рапс характеризуется повышенным требованием к обеспеченности почв микроэлементами, особенно бором, марганцем и цинком, потребность в которых возрастает на произвесткованных почвах. Доступность микроэлементов для рапса снижается в сухие годы, а также при холодной погоде, избыточном фосфорном и азотном питании.

Система удобрения озимого рапса - минеральная, двучленная: основное удобрение и подкормка. Органические удобрения (20-30 т/га) на песчаных и бедных гумусом почвах рекомендуется вносить под предшественник.

Полную дозу фосфорных и калийных удобрений лучше вносить после уборки предшественника под основную обработку почвы с соблюдением приемов, направленных против переуплотнения почвы. Кроме того, для снижения потерь калия от вымывания на почвах с легким гранулометрическим составом целесообразно вносить 60-70% расчетной дозы калия осенью, а остальную часть - рано весной, причем оптимальной формой калийных удобрений для данной подкормки является сульфат калия.

Азотные удобрения, как правило, применяются после перезимовки озимого рапса в два приема. Только в исключительных случаях азот (не более 30 кг/га) вносят осенью.

Азотные удобрения следует вносить в подкормки. *Первую* в дозе N110-120 – во время возобновления весенней вегетации. Лучшими формами азотных удобрений являются аммиачная селитра, КАС, карбамид. В годы с ранней весной в первую подкормку следует вносить 40-60 кг/га азота, а остальную дозу внести в фазе бутонизации. *Вторую* подкормку (N40-60) проводят в фазе стеблевания (примерно через 2-2,5 недели после первой) аммиачной селитрой, КАС, сульфатом аммония. В случае использования сульфата аммония необходимо обратить особое внимание на содержание серы в почве. Так, данное удобрение целесообразно использовать на почвах с низким содержанием обменной серы (менее 6,0 мг/кг почвы). На почвах с более высоким ее содержанием внесение сульфата аммония может приводить к повышению содержания глюкозинолатов в маслосеменах.

При внесении КАС доза азота не должна превышать 30 кг/га. КАС необходимо разбавить водой в соотношении 1:3. При этом в раствор можно ввести микроэлементы и инсектициды. Подкормку проводить в утреннее или вечернее время. При недостаточном внесении азота в первые две подкормки можно провести и *третью* – спустя 1-1,5 недели в фазе бутонизации до начала цветения. В этом случае используют 5-10%-ый раствор карбамида, КАС или комплексные удобрения, содержащее микроэлементы.

Система удобрения ярового рапса **-** минеральная, двучленная: основное внесение удобрений и подкормка. Органические удобрения целесообразно вносить под предшественник рапса. Фосфорные и калийные удобрения на связных почвах вносят осенью при основной обработке, на легких почвах в предпосевную культивацию. В качестве фосфорных удобрений можно использовать комплексные удобрения: аммофос, диаммофос, из калийных – хлористый калий**.** Азот под рапс яровой при расчетной дозе более 90 кг/га следует вносить дробно: до посева в виде КАС, мочевины или аммиачной селитры (50% расчетной дозы) и подкормки. Первая подкормка – фаза 4-6 листьев (30% расчетной дозы) в виде сульфата аммония, мочевины или аммиачной селитры. Вторая подкормка – фаза бутонизации (20% расчетной дозы) в виде КАС одновременно с внесением микроэлементов и инсектицидной обработкой от рапсового цветоеда с нормой расхода баковой смеси 300 л/га.

Эффект от применения серосодержащих удобрений проявляется лишь на почвах с обеспеченностью элементом ниже средней (менее 6,0 мг/кг почвы), а его одностороннее применение приводит к повышенному содержанию глюкозинолатов в маслосеменах.

При известковании кислых почв происходит уменьшение подвижности многих микроэлементов. Снижение доступности микроэле­ментов может проявляться так же на почвах легкого гранулометрического состава, особенно в засушливые годы. В связи с этим на дерново-подзолистых почвах рекомендуется использовать в виде некорневой подкормки, начиная с фазы 6-8 листьев и заканчивая фазой бутонизации: бор 50-70 г/га, марганец – 50-100 г/га, молибден – 30-40 г/га, магний – 50-100 г/га в виде солей металлов или с использованием микроудобрений, содержащих металлы в хелатной форме. Однако, наиболее оптимальным сроком внесения микроудобрений является фаза бутонизации, которая длится, в зависимости от погодных условий, около месяца. Использование микроудобрений следует совмещать с применением инсектицидов.

***Овощные культуры***

Органические удобрения и большую часть фосфорно-калийных удобрений вносят под осеннюю вспашку почвы, а азотные – весной под предпосевную (предпосадочную) обработку почвы. Для мелкосеменных и ранних культур возможно рядковое внесение удобрений при посеве.

Если удобрения не были внесены в основную заправку, растения подкармливают азотными удобрениями, а при необходимости и полным составом удобрений при междурядной обработке почвы.

Первую подкормку проводят через 30-35 дней после посева (при появлении третьего настоящего листочка) или через 10-15 дней после высадки рассады, вторую – в период интенсивного роста растений.

Одна из проблем овощеводства – повышенное накопление нитратов в овощах. Накопление в овощах нитратного азота выше ПДК происходит вследствие внесения высоких доз азотных удобрений, несоблюдения соотношения элементов питания, нарушения сроков их применения и технологии выращивания. Дробное внесение азотных удобрений, применение органических удобрений приводят к более равномерному обеспечению растений усвояемым азотом и меньшему накоплению нитратов в овощах. Определяющим фактором является соотношение аммонийного и нитратного азота. При нитратном питании растений вероятность накопления нитратов больше, чем при аммонийном. Содержание нитратов в продукции также зависит от биологических особенностей растений и сроков уборки.

***Удобрение овощных культур в открытом******грунте***

Овощеводство отличается от других отраслей растениеводства обширным видовым и сортовым составом растений, резко различающихся по длине вегетационного периода, строению и мощности корневой системы, темпам формирования используемых в качестве товарной продукции органов запаса и, следовательно, размерами и динамикой потребления питательных веществ при формировании урожая. Овощные культуры, как правило, высокотребовательны к плодородию почв, водному и питательному режимам либо вследствие интенсивного накопления сухого вещества за короткий период зеленными и скороспелыми овощами, либо вследствие образования большой растительной массы в товарной (20–50 т/га) и побочной продукции. Чтобы улучшить плодородие почв с низким содержанием гумуса, необходимо систематически вносить органические удобрения: по 60-80 т/га в начале окультуривания и по 20-40 т/га при достижении хорошего уровня плодородия почвы.

Большинство овощных культур предпочитает слабокислую или нейтральную реакцию среды – рН 6,0-7,0. Овощные культуры выносят из почвы большое количество элементов питания. Максимальным потреблением элементов питания отличается столовая свекла. Капуста отличается быстрыми темпами поглощения питательных элементов, лук, морковь, столовая свекла – медленными, томаты занимают промежуточное положение. Коэффициенты использования элементов питания овощными культурами из запасов почвы и удобрений выше, чем других культур (из запасов почвы фосфора используется 5-10%, калия – 30-60%; из минеральных удобрений коэффициент использования азота составляяет 50-70%, фосфора – 15-30% и калия – 60-80%).

***Система удобрения в тепличном овощеводстве***

Система удобрения в тепличном овощеводстве состоит из основного внесения и проведения подкормок. Свежеприготовленные насыпные грунты до внесения удобрений, как правило, содержат небольшое количество элементов питания, которое нужно увеличить до необходимого уровня.

Дозы внесения минеральных удобрений в основную заправку (перед посадкой растений) зависят от культуры и уровней содержания питательных веществ в грунте.

Минеральные удобрения равномерно вносят в сухом виде на поверхность грунта и заделывают фрезой. Корректировку доз удобрений проводят также с учетом урожая, полученного за расчетный период. В конце каждой недели подсчитывают количество азота, калия и магния, израсходованное растениями на образование плодов, это количество вносят с последующими подкормками.

 Некорневые подкормки (капельный полив) повторяют через 7-15 дней. Огурцы и томаты за вегетацию подкармливают обычно 5-8 раз. Некорневые подкормки следует проводить в пасмурные дни или в первую половину дня. Исключается проведение подкормок в день сбора плодов. Раствор для подкормки должен быть определенной концентрации. Концентрация питательных растворов в начальные фазы развития более низкая, чем в более поздние фазы развития. Концентрация питательных растворов также зависит от культуры. В солнечные дни летом концентра­цию питательных растворов уменьшают. Подкормки заканчивают за месяц до окончания сбора урожая.

 При выращивании овощей в защищенном грунте стоит проблема накопления нитратов. Накопление нитратов в овощной продукции зависит от условий выращивания, субстрата, использования световой энергии, защиты растений и ряда других причин.

Лучшими удобрениями в закрытом грунте являются:

– азотные: кальциевая селитра, карбамид и сульфат аммония;

– фосфорные – аммофос;

– калийные – сульфат калия, нитрат калия.

В настоящее время выпускают специальные удобрения для теплиц, например, серия водорастворимых удобрений линейки SOLAR. Современные технологии выращивания овощных культур в теплицах предусматривают использование удобрений, обеспечивающих не только полноценное минеральное питание, но и бесперебойную работу системы капельного полива. Удобрения для теплиц отличаются высокой химической чистотой и полной растворимостью. Для капельного орошения целесообразно применять комплексные сбалансированные удобрения, содержащие мезо- и микроэлементы, или комплекс микроэлементов в форме легкоусвояемых хелатов.

**Информационные технологии и координатное (точное) земледелие**

Одним из важнейших направлений совершенствования производства в растениеводстве является оптимизация текущих затрат, то есть снижение себестоимости продукции. И здесь первоочередное значение приобретают интегрированные технологии комплексного применения средств химизации. Они не только отчасти снижают экологическую нагрузку на окружающую среду в масштабах всей страны, но и очень выгодны с финансовой точки зрения для сельхозпредприятий. Чем меньше топлива, электричества, удобрений, семян, трудозатрат и других ресурсов расходуется на производство единицы продукции, тем ниже ее себестоимость и тем выше прибыль от ее реализации.

На текущий момент добиться эффективного ресурсосбережения и рационального использования удобрений и других средств химизации можно с помощью информационных технологий, под которыми в данном случае следует понимать все те организационные методы и технические новации, которые позволяют максимально точно отслеживать и регулировать использование всех ресурсов на предприятии.

Координатное (точное) земледелие относится к наиболее динамично развивающихся агротенологий в себе в себе. Концепция координатного земледелия сформировалась на стыке различных научных направлений и успешно сочетает в себе достижения глобальной системы определения координат, геоинформационных систем, технологий многослойного электронного картирования, дистанционного зондирования состояния почв и посевов сельскохозяйственных культур, компьютерного управления движением сельскохозяйственной техники и работой отдельных рабочих органов при выполнении агротехнических, агрохимических и защитных мероприятий.

Одним из основных элементов технологии точного земледелия является внесение дифференцированных доз удобрений и средств защиты растений в соответствии с выявленной внутрипольной пестротой агрохимических характеристик почвенного плодородия, текущим фитосанитарным состоянием почв и посевов.

В условиях быстрого нарастания информатизации четко прослеживается тенденция к повышению уровня информационно-аналитичекого обеспечения технологий, используемых в сельскохозяйственном производстве.

Современные интенсивные агротехнологии предусматривают высокий уровень агротехники, активное использование комплекса средств химизации (удобрений, химических мелиорантов, регуляторов роста растений, пестицидов). В результате значительно возрастает не только потенциальная продуктивность каждого гектара, но и цена возможных ошибок. Это обусловливает требования к точности первичной почвенно-агрохимической и метеорологической информации и к качеству принимаемых решений.

Основными элементами внутрипольного варьирования урожайности сельскохозяйственных культур яавляются различия в содержании питательных веществ в почве на отдельных участках (контурах) поля, мощность гумусного горизонта, в значительной степени определяемая степенью эродированности почв, влажность пахотного горизонта, отражающая запас продуктивной влаги и крутизна склонов.

Алгоритм расчета доз минеральных удобрений учитывает:

- вынос элемента минерального питания с планируемым урожаем;

- частичную компенсацию выноса за счет плодородия почвенного плодородия;

- действие и последействие органических удобрений,

- коэффициенты использования минеральных удобрений в текущем году;

- поправочные коэффициенты к расчетным дозам минеральных удобрений, позволяющих учесть агрохимические и иные характристики конкретного поля:

Д= {(В –Сплод-Соу1-Соу2)/Кисп }\*Кпол,

где Д- доза удобрений на планируемую урожайность, кг. д.в./га;

В – вынос элемента минерального питания с урожаем, кг д.в/га

Сплод- частичная компенсация выноса элемента питания за счет почвенного плодородия, кг.д.в/га;

Соу1 – частичная компенсация выноса за счет внесения органических удобрений в текущем году, кг. д.в./га;

Соу2 – частичная компенсация выноса за счет внесения органических удобрений в предыдущем году, кг. д.в./га;

Кисп – коэффициент использования минерального удобрения в текущем году, кг.д.в/га;

Кпол- поправочный коэффициент к расчетным дозам удобрений, учитывающий агрохимические и агроэкологические особенности конкретного поля, в том числе:

Кпол1- коэффицтент учета грансостава почв;

Кпол2- поправка на эродированность почв;

Кпол3- поправка на влияние кислотности почвы на культуру

Кпол4- поправка уровень технологии.

Таблица 27.

**Поправочные коэффициенты к дозам минеральных удобрений в зависимости от уровня технологической культуры земледелия**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Уровень технологической культуры земледелия** | **Значение Кпол4** | **Средняя продуктивность 1 га пашни за 3 года, з.е.** |
| Низкая | 1,2 | Менее 20 |
| Средняя | 1,0 | 20-30 |
| Повышенная | 0,9 | 30-40 |
| Высокая | 0,8 | 40-50 |
| Очень высокая | 0,7 | Более 50 |

Поскольку на стадии вегетационного периода не всегда достаточно точно можно спрогнозировать цены на готовую продукцию, то в программных средствах следует предусмотреть возможность расчета доз удобрений как по критерию максимума урожайности, так и по максимуму прибыли.

Практика показывает, что прибавка урожая от улучшения одного фактора, обычно лимитирующего урожаи, бывает большей, если одновременно улучшается и другой лимитирующий фактор. Так, максимальной прибавки от азота можно добиться только, если культуры получают фосфор, калий и воду в достаточных количествах.

Анализ существующих программных продуктов показал, что в настоящее время не существует разработок, полностью реализующих информационную поддержку прецизионного внесения удобрений и позволяющих интегрировать знания и опыт специалистов в области агрономии, биологии и других отраслей знаний с целью их практического применения. Эффективность прецизионного применения удобрений в первую очередь достигается за счет выработки оптимальных агрохимических решений на основе управления обширным информационным массивом, генерируемым в ходе агрохимического мониторинга почв и состояния посевов.

**Система применения удобрений в координатном (точном) земледелии**.

Точное земледелие включает в себя множество элементов информационных решений, но все их можно разбить на три основные группы:

* сбор информации о хозяйстве, поле, культуре, регионе;
* анализ информации, принятие решений, в т.ч. формирование последовательности технологических операций и ограничений;
* выполнение решений - проведение агротехнологических операций.

Для реализации технологии точного земледелия необходимы: современная сельскохозяйственная техника, управляемая бортовым компьютером и способная дифференцированно проводить агротехнические операции, приборы точного позиционирования на местности (Глонасс/GPS-приёмники), технические системы, помогающие выявить неоднородность поля (автоматические пробоотборники, различные сенсоры и измерительные комплексы, уборочные машины с автоматическим учётом урожая, приборы дистанционного зондирования состояния сельскохозяйственных посевов и др.).

Первая группа информационного обеспечения уже достаточно развита в плане технического и программного обеспечения.

Вторая группа информационного обеспечения на сегодняшний день наименее развита, однако известны программные продукты, предназна­ченные для анализа собранной информации и формирования последовательности агротехнологических операций.

Третья группа – обеспечение дифференцированного внесения удобрений. Операцию по внесению дифференцированных доз удобрений или иных агрохимических средств можно проводить в двух режимах - *off-line и on-line*.

Режим off-line предусматривает предварительную подготовку на стационарном компьютере карты-задания, сформированной ранее, в которой содержатся пространственно привязанные дозы удобрения для каждого элементарного участка поля. Карту-задание переносят на бортовой компьютер агрегата, оснащённого GPS-приёмником и устройством, позволяющим управлять работой распределителя удобрений (или опрыскивателя).

Режим реального времени (on-line) предполагает предварительно определение последовательности выполнения операций, а доза удобрений определяется непосредственно в поле перед выполнением операции на основании информации, получаемой от специальных датчиков (например, N-сенсоров). В настоящее время активно ведутся разработки различных датчиков:

- оптических датчиков, позволяющих определять содержание азота в листьях растений или засоренность посевов),

- механических, оценивающих биомассу,

- диэлектрических, электромагнитных, позволяющих оценить влажность зерна или биомассы.

 В последние годы активно используются сельскохозяйственные беспилотные летательные аппараты (БПЛА), оснащенные средствами наблюдения и измерения характеристик состояния посевов. Апробированы следующие направления применения БПЛА:

- анализ рельефа;

 - измерение посевных площадей;

 - оценка качества обработки почвы;

- оценка состояния посевов на всех стадиях роста и развития сельскохозяйственных культур;

- опрыскивание определенных участков посевов (минеральное питание или защитная обработка проблемных участков);

- получение информации о необходимости и целесообразности полива.

**Справочная информация**

*Приложение 1.*

***Классификатор почвенных зон и провинций Российской Федерации***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Почвенная зона | Код зоны | Провинция | Код провин-ции |
| Полярно-тундровая зона арктических и тундровых глеевых почв | 01 |  | 0 |
| Лесотундрово-северотаежная зона глеево-подзолистых и мерзлотно-таежных почв | 02 | Европейская лесотундрово-северо-таежная | 1 |
| Сибирская лесотундрово-еверо-таежная | 2 |
| Северо-восточная лесотундрово-северо-таежная | 3 |
| Таежная зона подзолистых (типичных) и мерзлотно-таежных почв | 03 | Европейская таежная | 1 |
| Западно-Сибирская болотно-таежная | 2 |
| Среднесибирская мерзлотно-таежная | 3 |
| Центрально-Якутская мерзлотно-таежная | 4 |
| Таежно-лесная зона дерново-подзолистых почв | 04 | Среднерусская таежно-лесная | 1 |
| Западно-Сибирская таежно-болотно-лесная | 2 |
| Среднесибирская таежно-лесная | 3 |
| Дальневосточно-Сахалинская таежно-лесная | 4 |
| Буроземно-лесная зона подзолисто-буроземных и бурых лесных почв | 05 | Дальневосточно-Приморская буроземно-лесная | 1 |
| Лесостепная зона серых лесных почв, оподзоленных, выщелоченных и типичных сероземов | 06 | Среднерусская черноземно-лесостепная | 1 |
| Предуральская черноземно-лесостепная | 2 |
| Западно-Сибирская лугово-черноземно-лесостепная | 3 |
| Предалтайская черноземно-лесостепная | 4 |
| Среднесибирская черноземно-лесостепная | 5 |
| Степная зона обыкновенных и южных черноземов | 07 | Предкавказская черноземно-степная | 1 |
| Южно-Русская черноземно-степная | 2 |
| Заволжская черноземно-степная | 3 |
| Предалтайская черноземно-степная | 4 |
| Восточно-Сибирская черноземно-каштаново-степная | 5 |
| Сухостепная зона темно-каштановых и каштановых почв | 08 | Манычско-Донская сухостепная | 1 |
| Заволжская сухостепная | 2 |
| Полупустынная зона светлых каштановых и бурых почв | 09 | Прикаспийская полупустынная | 1 |
| Пустынная зона северных серо-бурых почв, песков и солончаков | 10 | Арало-Каспийская полупустынная | 1 |
| Горные природно-сельскохозяйственные области | 11 | Карпато-Кавказская горная область | 1 |
| Южно-Сибирская горная область | 2 |
| Северо-Сибирская горная область | 3 |
| Камчато-Курильская горно-долинная | 4 |

*Приложение 2.*

***Классификатор гранулометрического состава почв по содержанию физической глины (частиц мельче 0,01 мм)***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Код | Наименование почв по механическому составу | Физическая глина, % |
| 00 | Почвы подзолистого типа почвообразования | Более 50 |
| 01 | Глинистые | 40-50 |
| 02 | Тяжелосуглинистые | 30-40 |
| 03 | Среднесуглинистые | 20-30 |
| 04 | Легкосуглинистые | 10-20 |
| 05 | Супесчаные | Менее 10 |
| 06 | Песчаные |  |
| 10 | Почвы степного типа почвообразования |  |
| 11 | Глинистые | Более 60 |
| 12 | Тяжелосуглинистые | 45-60 |
| 13 | Среднесуглинистые | 30-45 |
| 14 | Легкосуглинистые | 20-30 |
| 15 | Супесчаные | 10-20 |
| 16 | Песчаные | Менее 10 |
| 20 | Солонцовые почвы, солонцы и солончаки |  |
| 21 | Глинистые | Более 40 |
| 22 | Тяжелосуглинистые | 30-40 |
| 23 | Среднесуглинистые | 20-30 |
| 24 | Легкосуглинистые | 15-20 |
| 25 | Супесчаные | 10-15 |
| 26 | Песчаные | Менее 10 |
| 99 | Нет данных |  |

*Приложение 3.*

***Градации пахотных почв РФ по степени гумусированности***

***(содержание гумуса в пахотном слое, % от массы почвы)***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Почва | Грануло-метрический состав | Классы по степени гумусированности |
| меньше минимального содержания\*\* | слабогуму-сированные\*\*\* | среднегуму-сированные\*\*\* | сильногуму-сированные \*\*\*\* |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| *Северный и Северо-Западный регионы* |
| Дерново-подзолистые | А | ‹0,5-0,1 | 1,0-1,7 | 1,7-2,5 | ›2,5 |
| В | ‹1,0-1,5 | 1,5-2,3 | 2,3-3,3 | ›3,3 |
| С | ‹1,5-2,0 | 2,0-2,9 | 2,9-3,9 | ›3,9 |
| *Центральный, Волго-Вятский, Центрально-Черноземный, Северо-Кавказский регионы* |
| Дерново-подзолистые | А | ‹0,3-0,8 | 0,8-1,5 | 1,5-2,3 | ›2,3 |
| В | ‹0,6-1,3 | 1,3-2,1 | 2,1-3,0 | ›3,0 |
| С | ‹0,9-1,6 | 1,6-2,4 | 2,4-3,4 | ›3,4 |
| Светло-серые лесные | I | ‹0,4-1,0 | 1,0-1,7 | 1,7-2,5 | ›2,5 |
| II | ‹0,8-1,5 | 1,5-2,3 | 2,3-3,3 | ›3,3 |
| Серые-лесные | I | ‹1,2-2,0 | 2,0-2,9 | 2,9-3,9 | ›3,9 |
| II | ‹1,6-2,5 | 2,5-3,5 | 3,5-4,5 | ›4,5 |
| Темно-серые лесные | I | ‹2,1-3,0 | 3,0-4,0 | 4,0-5,0 | ›5,0 |
| II | ‹2,5-3,5 | 3,5-4,5 | 4,5-5,5 | ›5,5 |
| Черноземы оподзоленные | А | ‹1,6-2,5 | 2,5-3,5 | 3,5-4,5 | ›4,5 |
| В | ‹2,0-3,0 | 3,0-4,0 | 4,0-5,0 | ›5,0 |
| С | ‹3,0-4,0 | 4,0-5,0 | 5,0-6,0 | ›6,0 |
| Черноземы типичные и выщелоченные | А | ‹2,5-3,5 | 3,5-4,5 | 4,5-5,5 | ›5,5 |
| В | ‹3,5-4,5 | 4,5-5,5 | 5,5-6,5 | ›6,5 |
| С | ‹4,5-5,5 | 5,5-6,5 | 6,5-7,5 | ›7,5 |
| Черноземы южные | А | ‹1,6-2,5 | 2,5-3,5 | 3,5-4,5 | ›4,5 |
| В | ‹2,0-3,0 | 3,0-4,0 | 4,0-5,0 | ›5,0 |
| С | ‹3,0-4,0 | 4,0-5,0 | 5,0-6,0 | ›6,0 |
| Темно-каштановые | I | ‹1,2-2,0 | 2,0-2,9 | 2,9-3,9 | ›3,9 |
| II | ‹1,6-2,5 | 2,5-3,5 | 3,5-4,5 | ›4,5 |
| Каштановые | I | ‹0,4-1,0 | 1,0-1,7 | 1,7-2,5 | ›2,5 |
| II | ‹0,8-1,5 | 1,5-2,3 | 2,3-3,3 | ›3,3 |
| Светло-каштановые | I | ‹0,3-0,8 | 0,8-1,5 | 1,5-2,3 | ›2,3 |
| II | ‹0,4-1,0 | 1,0-1,7 | 1,7-2,5 | ›2,5 |
| *Поволжский и Уральский регионы* |
| Дерново-подзолистые | А | ‹0,4-1,0 | 1,0-1,7 | 1,7-2,5 | ›2,5 |
| В | ‹0,8-1,5 | 1,5-2,3 | 2,3-3,3 | ›3,3 |
| С | ‹1,2-2,0 | 2,0-2,9 | 2,9-3,9 | ›3,9 |
| Светло-серые лесные | I | ‹1,2-2,0 | 2,0-2,9 | 2,9-3,9 | ›3,9 |
| II | ‹1,6-2,5 | 2,5-3,5 | 3,5-4,5 | ›4,5 |
| Серые лесные | I | ‹2,1-3,0 | 3,0-4,0 | 4,0-5,0 | ›5,0 |
| II | ‹2,5-3,5 | 3,5-4,5 | 4,5-5,5 | ›5,5 |
| Темно-серые лесные | I | ‹2,5-3,5 | 3,5-4,5 | 4,5-5,5 | ›5,5 |
| II | ‹3,5-4,5 | 4,5-5,5 | 5,5-6,5 | ›6,5 |
| Черноземы оподзоленные | А | ‹3,0-4,0 | 4,0-5,0 | 5,0-6,0 | ›6,0 |
| В | ‹4,0-5,0 | 5,0-6,0 | 6,0-7,0 | ›7,0 |
| С | ‹5,0-6,0 | 6,0-7,0 | 7,0-8,0 | ›8,0 |
| Черноземы типичные и выщелоченные | А | ‹4,0-5,0 | 5,0-6,0 | 6,0-7,0 | ›7,0 |
| В | ‹5,0-6,0 | 6,0-7,0 | 7,0-8,0 | ›8,0 |
| С | ‹6,0-7,0 | 7,0-8,0 | 8,0-9,0 | ›9,0 |
| Черноземы обыкновенные | А | ‹3,0-4,0 | 4,0-5,0 | 5,0-6,0 | ›6,0 |
| В | ‹4,0-5,0 | 5,0-6,0 | 6,0-7,0 | ›7,0 |
| С | ‹5,0-6,0 | 6,0-7,0 | 7,0-8,0 | ›8,0 |
| *Западно-Сибирский регион* |
| Светло-серые лесные | I | ‹0,8-1,5 | 1,5-2,3 | 2,3-3,3 | ›3,3 |
| II | ‹1,2-2,0 | 2,0-2,9 | 2,9-3,9 | ›3,9 |
| Серые лесные | I | ‹1,2-2,0 | 2,0-2,9 | 2,9-3,9 | ›3,9 |
| II | ‹1,6-2,5 | 2,5-3,5 | 3,5-4,5 | ›4,5 |
| Темно-серые лесные | I | ‹1,6-2,5 | 2,5-3,5 | 3,5-4,5 | ›4,5 |
| II | ‹2,0-3,0 | 3,0-4,0 | 4,0-5,0 | ›5,0 |
| Черноземы оподзоленные | А | ‹1,6-2,5 | 2,5-3,5 | 3,5-4,5 | ›4,5 |
| В | ‹2,0-3,0 | 3,0-4,0 | 4,0-5,0 | ›5,0 |
| С | ‹3,0-4,0 | 4,0-5,0 | 5,0-6,0 | ›6,0 |
| Черноземы типичные выщелоченные | А | ‹2,0-3,0 | 3,0-4,0 | 4,0-5,0 | ›5,0 |
| В | ‹3,0-4,0 | 4,0-5,0 | 5,0-6,0 | ›6,0 |
| С | ‹4,0-5,0 | 5,0-6,0 | 6,0-7,0 | ›7,0 |
| Черноземы обыкновенные | А | ‹1,6-2,5 | 2,5-3,5 | 3,5-4,5 | ›4,5 |
| В | ‹2,0-3,0 | 3,0-4,0 | 4,0-5,0 | ›5,0 |
| С | ‹3,0-4,0 | 4,0-5,0 | 5,0-6,0 | ›6,0 |
| Черноземы южные | А | ‹1,2-2,0 | 2,0-2,9 | 2,9-3,9 | ›3,9 |
| В | ‹1,6-2,5 | 2,5-3,5 | 3,5-4,5 | ›4,5 |
| С | ‹2,0-3,0 | 3,0-4,0 | 4,0-5,0 | ›5,0 |
| Темно-каштановые | I | ‹1,2-2,0 | 2,0-2,9 | 2,9-3,9 | ›3,9 |
| II | ‹1,6-2,5 | 2,5-3,5 | 3,5-4,5 | ›4,5 |
| Каштановые | I | ‹0,8-1,5 | 1,5-2,3 | 2,3-3,3 | ›3,3 |
| II | ‹1,2-2,0 | 2,0-2,9 | 2,9-3,9 | ›3,9 |
| Светло-каштановые | I | ‹0,4-1,0 | 1,0-1,7 | 1,7-2,5 | ›2,5 |
| II | ‹0,8-1,5 | 1,5-2,3 | 2,3-3,3 | ›3,3 |
| *Восточно-Сибирский регион* |
| Светло-серые лесные  | I | ‹0,8-1,5 | 1,5-2,3 | 2,3-3,3 | ›3,3 |
| II | ‹1,2-2,0 | 2,0-2,9 | 2,9-3,9 | ›3,9 |
| Серые лесные | I | ‹1,6-2,5 | 2,5-3,5 | 3,5-4,5 | ›4,5 |
| II | ‹2,0-3,0 | 3,0-4,0 | 4,0-5,0 | ›5,0 |
| Темно-серые лесные | I | ‹2,5-3,5 | 3,5-4,5 | 4,5-5,5 | ›5,5 |
| II | ‹3,0-4,0 | 4,0-5,0 | 5,0-6,0 | ›6,0 |
| Черноземы оподзоленные | А | ‹2,0-3,0 | 3,0-4,0 | 4,0-5,0 | ›5,0 |
| В | ‹3,0-4,0 | 4,0-5,0 | 5,0-6,0 | ›6,0 |
| С | ‹4,0-5,0 | 5,0-6,0 | 6,0-7,0 | ›7,0 |
| Черноземы выщелоченные | А | ‹3,0-4,0 | 4,0-50 | 5,0-6,0 | ›6,0 |
| В | ‹4,0-5,0 | 5,0-6,0 | 6,0-7,0 | ›7,0 |
| С | ‹5,0-6,0 | 6,0-7,0 | 7,0-8,0 | ›8,0 |
| Черноземы типичные | А | ‹4,0-5,0 | 5,0-6,0 | 6,0-7,0 | ›7,0 |
| В | ‹5,0-6,0 | 6,0-7,0 | 7,0-8,0 | ›8,0 |
| С | ‹6,0-7,0 | 7,0-8,0 | 8,0-9,0 | ›9,0 |
| Черноземы обыкновенные | А | ‹3,0-4,0 | 4,0-5,0 | 5,0-6,0 | ›6,0 |
| В | ‹4,0-5,0 | 5,0-6,0 | 6,0-7,0 | ›7,0 |
| С | ‹5,0-6,0 | 6,0-7,0 | 7,0-8,0 | ›8,0 |
| Черноземы южные | А | ‹2,0-3,0 | 3,0-4,0 | 4,0-5,0 | ›5,0 |
| В | ‹3,0-4,0 | 4,0-5,0 | 5,0-6,0 | ›6,0 |
| С | ‹4,0-5,0 | 5,0-6,0 | 6,0-7,0 | ›7,0 |
| Темно-каштановые | I | *‹1,2-2,0* | *2,0-2,9* | *2,9-3,9* | *›3,9* |
| II | ‹2,0-3,0 | 3,0-4,0 | 4,0-5,0 | ›5,0 |
| Каштановые | I | ‹0,8-1,5 | 1,5-2,3 | 2,3-3,3 | ›3,3 |
| II | ‹1,2-2,0 | 2,0-2,9 | 2,9-3,9 | ›3,9 |
| *Дальневосточный регион* |
| Бурые остаточно-пойменные | I | ‹0,4-1,0 | 1,0-1,7 | 1,7-2,5 | ›2,5 |
| II | ‹0,8-1,5 | 1,5-2,3 | 2,3-3,3 | ›3,3 |
| Бурые лесные | I | ‹0,8-1,5 | 1,5-2,3 | 2,3-3,3 | ›3,3 |
| II | ‹1,2-2,0 | 2,0-2,9 | 2,9-3,9 | ›3,9 |
| Буро-подзолистые глеевые | I | ‹1,6-2,5 | 2,5-3,5 | 3,5-4,5 | ›4,5 |
| II | ‹2,5-3,5 | 3,5-4,5 | 4,5-5,5 | ›5,5 |
| Примечания:\* А – песчаные, супесчаные;В - легко- и среднесуглинистые;С – тяжелосуглинистые, глинистые;I – песчаные, супесчаные, легкосуглинистые;II – среднесуглинистые, тяжелосуглинистые, глинистые.\*\* Градация «Меньше минимального содержания». Почвы частично утратили инертную компоненту гумуса в результате эрозионного выноса почвенных частиц, перемешивания гумусового горизонта с нижележащими, механического выноса токодисперсных частиц при уборке пропашных культур (сахарная свекла, картофель и др.) и т.п.\*\*\* Градации « Слабогумусированные» и «Среднегумусированные». Почвы в той или степени утратили трансформируемое органическое вещество по отношению к его содержанию на целине в результате биологической минерализации.\*\*\*\* Градация «Сильногумусированные». Почвы в незначительной степени утратили (биологическая минерализация) или приобрели (внесение органических удобрений) трансформируемое органическое вещество по отношению к его содержанию на целине. |

*Приложение 4*

***Группировка почв по содержанию подвижного фосфора***

*(по методам Кирсаноа, Чирикова, Мачигиа)*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № группы | Содержание подвижного фосфора | По методу |
| Кирсаова | Чирикова | Мачигина |
| P2O5, мг/кг почвы |
| 1. | Очень низкое | Менее 25 | Менее 20 | Менее 10 |
| 2. | Низкое | 26-50 | 21-50 | 11-15 |
| 3. | Среднее | 51-100 | 51-100 | 16-30 |
| 4. | Повышенное | 101-150 | 101-150 | 31-45 |
| 5. | Высокое | 151-120 | 151-120 | 46-60 |
| 6. | Очень высокое | Более 250\* | Более 200\* | Более 60\* |

*Приложение 5.*

***Группировка почв по содержанию подвижного фосфора, определяемого по методу Эгнера-Рима***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № группы | Содержание подвижного фосфора | По методу Эгнера-Рима |
| P2O5, мг/кг почвы |
| 1. | Очень низкое | Менее 50 |
| 2. | Низкое | 51-70 |
| 3. | Среднее | 71-140 |
| 4. | Повышенное | Более 140\* |
| 5. | Высокое | - |
| \* При наличии проб с содержанием подвижного фосфора выше 6-й группы по методам Кирсанова, Чирикова, Мачигина и 4-й группы по методу Эгрена-Рима вводится дополнительная группировка, приведенная ниже: |

*Приложение 6.*

***Дополнительная группировка по содержанию подвижного фосфора\****

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Группы | Методы определения | Группы | Метод Эгнера-Рима |
| Кирсанова | Чирикова  | Мачигина |
| 6. | 251-500 | 201-500 | 61-100 | 4. | 141-200 |
| 7. | 501-1000 | 501-1000 | 101-200 | 5. | 201-300 |
| 8. | 1001-2000 | 1001-2000 | 201-300 | 6. | 301-400 |
| 9. | 2001-3000 | 2001-3000 | 301-400 | 7. | 401-500 |
| 10. | ›3000 | ›3000 | ›400 | 8. | ›500 |
| \* При этих содержаниях рекомендуется определять степень подвижных фосфатов. |

*Приложение 7*

***Группировка почв по содержанию обменного калия***

*(по методам Кирсанова, Чирикова, Мачигина, Масловой)*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № группы | Содержание обменного калия | По методу |
| Кирсанова | Чирикова | Мачигина | Масловой |
| K2O, мг/кг почвы |
| 1. | Очень низкое | Менее 40 | Менее 20 | Менее 100 | Менее 50 |
| 2. | Низкое | 41-80 | 21-40 | 101-200 | 51-100 |
| 3. | Среднее | 81-120 | 41-80 | 201-300 | 101-150 |
| 4. | Повышенное | 121-170 | 81-120 | 301-400 | 151-200 |
| 5. | Высокое | 171-250 | 121-180 | 401-600 | 201-300 |
| 6. | Очень высокое | Более 250\* | Более 180\* | Более 600\* | Более 300\* |

*Приложение 8.*

***Группировка почв по содержанию обменного калия, определяемого по методу Эгнера-Рима***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Градация** | **Содержание обменного калия** | **По методу****Эгнера-Рима****K2O, мг/кг почвы** |
| 1. | Низкое | Менее 70 |
| 2. | Среднее | 71-140 |
| 3. | Повышенное | Более 140\* |
| \* При наличии проб с содержанием обменного калия выше 6-й группы по методам Кирсанова, Чирикова, Мачигина, Масловой и 3-й группы по методу Эгнера-Рима вводится дополнительная группировка, приведенная в приложении 9 |

*Приложение 9*

***Дополнительная группировка по содержанию обменного калия***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  **Градация** | **Методы определения** | **Группы** | **Метод Эгнера-Рима** |
| **Кирсанова** | **Чирикова** | **Мачигина** | **Масловой** |
| 6. | 251-500 | 181-500 | 601-1000 | 301-500 | 4. | 141-200 |
| 7. | 501-1000 | 501-1000 | 1001-200 | 501-1000 | 5. | 201-300 |
| 8. | 1001-2000 | 1001-2000 | 2001-3000 | 1001-2000 | 6. | 301-400 |
| 9. | 2001-3000 | 2001-3000 | 3001-4000 | 2001-3000 | 7. | 401-500 |
| 10. | Более 3000 | Более 3000 | Более 4000 | Более 3000 | 8. | ›500 |

*Приложение 10.*

***Группировка почв по содержанию обменных кальция и магния***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Градация** | **Содержание элемента** | **Ca** | **Mg** |
| **мг-экв/100 г. почвы** |
| 1. | Очень низкое | Менее 2,5 | Менее 0,5 |
| 2. | Низкое | 2,6-5,0 | 0,6-1,0 |
| 3. | Среднее | 5,1-10,0 | 1,1-2,0 |
| 4. | Повышенное | 10,1-15,0 | 2,1-3,0 |
| 5. | Высокое | 15,1-20,0 | 3,1-4,0 |
| 6. | Очень высокое | Более 20,0 | Более 4,0 |

*Приложение 11.*

***Группировка почв по содержанию подвижной (сульфатной) серы (1нKCl)***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Градация** | **Содержание элемента** | **Содержание подвижной серы, мг/кг** |
| 1. | Низкое | Менее 6,0 |
| 2. | Среднее | 6,1-12,0 |
| 3. | Высокое | Более 12,0 |

*Приложение 12*

***Группировка почв по содержанию подвижных форм микроэлементов***

***(по методу Пейве-Ринькиса)***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Элемент** | **Экстрагирующий раствор** | **Градации почв по содержанию микроэлементов, мг/кг** |
| низкое | среднее | высокое |
| Марганец | 0,1 н H2SO4 | Менее 30 | 31-70 | Более 70 |
| Цинк | 1 н KCl | Менее 0,7 | 0,8-1,5 | Более 1,5 |
| Медь | 1 н KCl | Менее 1,5 | 1,6-3,3 | Более 3,3 |
| Кобальт | 1 н HNO3 | Менее 0,1 | 1,1-1,2 | Более 2,2 |
| Бор | H2O | Менее 0,33 | 0,34-0,7 | Более 0,7 |
| Молибден | Оксалатно-буферный раствор с pH 3,3 | Менее 0,1 | 0,11-0,22 | Более 0,22 |

*Приложение 13.*

***Группировка почв по содержанию подвижных форм микроэлементов, определяемых в вытяжке ацетатно-аммонийного буферного раствора (pH 4,8) [125]***

|  |  |
| --- | --- |
| **Элемент** | **Градации почв по содержанию микроэлементов, мг/кг** |
| **низкое** | **среднее** | **высокое** |
| Марганец | Менее 10,0 | 10,0-20,0 | Более 20,0 |
| Цинк | Менее 2,0 | 2,1-5,0 | Более 5,00 |
| Медь | Менее 0,20 | 0,21-0,50 | Более 0,50 |
| Кобальт | Менее 0,15 | 0,16-0,30 | Более 0,30 |

*Приложение 14.*

***Группировка почв по степени кислотности, определяемой в солевой вытяжке***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Градация** | **Степень кислотности** | **рH (KCl)** |
| 1. |  Очень сильнокислые | Менее 4,0 |
| 2. | Сильнокислые | 4,1-4,5 |
| 3. | Среднекислые | 4,6-5,0 |
| 4. | Слабокислые | 5,1-5,5 |
| 5. | Близкие к нейтральным | 5,6-6,0 |
| 6. | Нейтральные | Более 6,0 |

*Приложение 15.*

***Группировка почв по гидролитической кислотности***

|  |  |
| --- | --- |
| **Градация** | **Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г. почвы** |
| 1. | Более 6,0 |
| 2. | 5,1-6,0 |
| 3. | 4,1-5,0 |
| 4. | 3,1-4,0 |
| 5. | 2,1-3,0 |
| 6. | Менее 2,0 |

*Приложение 16.*

***Группировка почв по сумме поглощенных оснований***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Градация** | **Сумма поглощенных оснований** | **мг-экв/100 г. почвы** |
| 1. | Очень низкая | Менее 5,0 |
| 2. | Низкая | 5,1-10,0 |
| 3. | Средняя | 10,1-15,0 |
| 4. | Повышенная | 15,1-20,0 |
| 5. | Высокая | 20,1-30,0 |
| 6. | Очень высокая | Более 30,0 |

*Приложение 17.*

***Группировка почв по степени насыщенности основаниями***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № группы | Степень насыщенности основаниями | % |
| 1. | Очень низкая | Менее 30,0 |
| 2. | Низкая | 30,1-50,0 |
| 3. | Средняя | 50,1-70,0 |
| 4. | Повышенная | 70,1-90,0 |
| 5. | Высокая | Более 90,0 |

*Приложение 18*

***Поправочные коэффициенты к годовым дозам удобрений в зависимости от гранулометрического состава почв***

|  |  |
| --- | --- |
| **Гранулометрический состав почвы** | **Поправочный коэффициент** |
| **азот** | **фосфор** | **калий** |
| глинистый | 0,9 | 1,1 | 0,8 |
| тяжелосуглинистый | 0,9 | 1,1 | 0,8 |
| среднесуглинистый | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| супесчаный | 1,0 | 1,0 | 1,2 |
| песчаный | 1,0 | 1,0 | 1,2 |

*Приложение 19.*

***Поправочные коэффициенты к годовым дозам удобрений в зависимости от степени эродированности почв***

|  |  |
| --- | --- |
| **Степень эродированности** | **Вид удобрений** |
| **азотные** | **фосфорные** | **калийные** |
| Неэродированная | 1,0 | 1,00 | 1,00 |
| Слабоэродированная | 1,1 | 1,05 | 1,05 |
| Среднеэродированная | 1,3 | 1,10 | 1,10 |
| сильноэродированная | 1,5 | 1,20 | 1,20 |

*Приложение 20.*

***Поправочные коэффициенты к годовым дозам фосфорных удобрений в зависимости от степени кислотности почв***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Культура** | **Степень кислотности почвы****рН, ед.рН** | **Поправочный коэффициент** |
| Озимая пшеница | <4,54.6-5.0>5.1 | 1.21.11.0 |
| Яровая пшеница | <4,54.6-5.0>5.1 | 1.21.11.0 |
| Ячмень, овес | <4,54.6-5.0>5.1 | 1.21.11.0 |
| Кормовые корнеплоды | <4,54.6-5.0>5.1 | 1.21.11.0 |
| Многолетние травы | <4,54.6-5.0>5.1 | 1.31.11.0 |
| Овощные культуры | 4.6-5.0>5.1 | 1.11.0 |

*Приложение 21.*

***Поправочные коэффициенты к годовым дозам фосфорных и калийных удобрений в зависимости от содержания подвижных форм фосфора и калия в почве***

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Группировка почв** | **Озимая пшеница, озимая рожь** | **Яровые зерновые** | **Зернобобовые** | **Кукуруза** | **Лен-долгунец** | **Пропашные культуры** | **Сахарная свекла** | **Овощные культуры** |
| Очень низкое | 1,2-1,5 | 1,3 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,7 | 1,5-3,0 | 1,7 |
| низкое | 1,1-1,3 | 1,2 | 1,0 | 1,2 | 1,0 | 1,4 | 1,2-1,5 | 1,5 |
| Среднее | 1,0 | 1,0 | 0,7 | 1,0 | 0,7 | 1,0 | 1,0 | 1,3 |
| повышенное | 0,5-0,7 | 0,8 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,5-0,8 | 1,0 |
| высокое | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,4 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,7 |
| Очень высокое | - | - |  |  |  |  |  |  |
| Очень низкое | 1,3-1,5 | 1,2 | 1,5 | 1,5 | 3,0 | 1,5 | 2,0 | 2,0 |
| низкое | 1,2 | 1,1 | 1,3 | 1,3 | 1,5 | 1,3 | 1,3-1,5 | 1,5 |
| Среднее | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,3 | 1,0 | 1,0-1,2 | 1,3 |
| повышенное | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 1,0 | 0,7 | 1,0 | 1,0 |
| высокое | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,7-0,8 | 0,7 |
| Очень высокое | - | - |  |  |  |  |  |  |

*Приложение 22.*

***Накопление азота в урожае различных бобовых культур и обогащение им почвы после уборки этих культур***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  Культура | Общее количество азота, связанного растением, кг/га в год | Убыль и прибыль азота в почве после уборки урожая, кг/га |
| Люцерна | 300 (до 500-600) | +100 (до 150-200) |
| Клевер | 150-160 (до 250-300) | +75-100 (до125-150) |
| Люпин | до 150 | около +30 |
| Зернобобовые | 50-60 | -5 (до -5) |

*Приложение 23.*

***Азотфиксация свободноживущими микроорганизмами***

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Почвы | Фиксация за счет продуктовминерализациигумуса, кг/га | Растительныеостатки,т/га | Фиксация за счет растительных остатков, кг/га | Суммафиксированного азота,кг/га |
|
|
|
| Дерново-подзолистые | 1,8 - 6,0 | Около 2,5 | 5-7 | 7,5-9,5 |
| Серые лесные | 3,0 - 9,0 | 3,0-4,5 | 15-20 | 18- 24,5 |
| Черноземы | 9,0 - 18,0 | Около 7,0 | 28 - 35 | 35 - 42 |
| Каштановые | 3,0 - 10,0 | Около 4,0 | 15-20 | 19 - 24 |
| Сероземы | 3,0 - 9,0 | Около 4,0 | 15-20 | 19 - 24 |

*Приложение 24*

***Потери урожая основных сельскохозяйственных культур от сорняков, %***

|  |  |
| --- | --- |
|  **Культура**  | **Число сорняков, шт./кв. м** |
|  5 10 15 25 50 75 100 200 |
|  **Уровень потерь урожая, %** |
|  Озимая пшеница 1,9 3,6 5,3 8,6 15,8 22,0 27,1 41,0 |
|  Яровая пшеница 1,8 3,4 5,1 8,3 15,7 22,0 27,6 43,9 |
|  Ячмень 1,5 3,1 4,7 7,4 13,5 18,8 23,2 34,9 |
|  Гречиха 3,0 5,8 8,5 13,2 22,8 29,5 34,4 43,3 |
|  Рис 1,6 3,8 4,7 7,5 14,2 20,1 25,3 40,9 |
|  Лен-долгунец 0,9 1,8 2,7 4,3 8,5 12,1 16,0 28,7 |
|  Кукуруза на силос 2,9 5,7 8,4 13,6 25,2 34,9 43,1 65,3 |
|  Картофель 2,4 4,7 6,8 10,9 19,4 26,1 31,2 43,0 |
|  Сахарная свекла 3,0 5,9 8,7 14,0 25,8 35,7 44,1 66,2 |
|  Подсолнечник 2,6 5,1 7,4 11,8 21,4 29,1 35,1 49,7 |
|  Соя 6,6 12,3 17,4 25,8 39,1 45,9 49,5 53,0 |
|  Однолетние травы 2,0 4,0 6,0 9,7 18,3 25,9 32,6 52,6 |
|  Многолетние травы 3,0 5,7 8,0 12,1 19,1 23,1 25,4 28,2 |

*Приложение 25.*

***Влияние засоренности посевов на эффективность минеральных удобрений***

|  |  |
| --- | --- |
| **Культуры** | **Снижение прибавки урожая (%) от внесения****минеральных удобрений на посевах с различным****уровнем засоренности** |
| **слабая** | **средняя** | **сильная** |
| Зерновые | 3,4 | 6,4 | 12,0 |
| Сахарная свекла | 14,6 | 29,2 | 58,4 |
| Картофель | 13,3 | 26,6 | 53,2 |
| Овощные | 21,3 | 42,6 | 85,2 |
| Плодовые и ягодные | 4,2 | 8,4 | 16,8 |

*Приложение 26.*

***Градации засоренности посевов по числу сорняков и покрытию сорняками площади посевов***

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Степень засорения** | **Балл** | **Численность сорняков, шт./кв. м** | **Покрытие сорняками площади, %** | **Условное обозначение** |
| Сорняков нет | 0 | 0 | - |  |
| Очень слабая | 1 | 0,1-5,0 | до 10 |  |
| Слабая | 2 | 5,1-15,0 | 11-25 |  |
| Средняя | 3 | 15,1-50,0 | 26-35 |  |
| Сильная | 4 | 50,1-100,0 | 36-50 |  |
| Очень сильная | 5 | Более 100 | Более 50 |  |

*Приложение 27.*

***Группировка почв по степени засоренности семенами пахотного слоя***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Число семян сорняков в****пахотном слое, млн. шт./га** | **Балл** | **Степень потенциальной засоренности** | **Условные****обозначения** |
|  | Менее 50 | 1 | Очень слабая |
|  | 50 - 150 | 2 | Низкая |
|  | 150 - 300 | 3 | Средняя |
|  | 300 - 500 | 4 | Повышенная |
|  | 500 - 800 | 5 | Высокая |
|  | Более 800 | 6 | Очень высокая |

*Приложение 28.*

**Влияние предшественников на накопление азота нитратного в черноземе обыкновенном**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Предшественник** | **Содержание N-NO3 в пахотном слое, мг/кг** | **Степень обеспеченности** |
| Чистый пар | 25-30 | высокая |
| Занятый пар | 18-20 | повышенная |
| Горох | 16-18 | средняя |
| Озимая пшеница | 10-12 | низкая |
| Кукуруза на силос | 7-8 | очень низкая |

*Приложение 29*

**Соотношение хозяйственно полезной и побочной продукции для различных сельскохозяйственных культур**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Культура** | **Соотношение полезной и побочной продукции** | **Коэффициент** **пересчета Кхоз** |
| Озимая пшеница | 1:1,5 | 0,40 |
| Озимая рожь | 1:2,0 | 0,33 |
| Яровая пшеница | 1:1,2 | 0,45 |
| Овес | 1:1,1 | 0,48 |
| Ячмень | 1:1,3 | 0,43 |
| Картофель | 1:0,7 | 0,59 |
| Свекла кормовая | 1:0,4 | 0,71 |

**СПИСОК**

**ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1.Рекомендации по проектированию интегрированного применения средств химизации в ресурсосберегающих технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия. М., ФГНУ «Росинформагротех», 2010, -464 с.

2. Методическое руководство по проектированию применения удобрений в технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия. М., 2008, -392 с.

1. Муравин Э.А., Ромодина Л.В., Литвинский В.А. Агрохимия. М., ИЦ «Академия», 2014, -с.302.
2. Методика разработки нормативов окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая сельскохозяйственных культур. М., ВНИИА, 2009, - 48с.
3. Методика проектирования системы удобрения в адаптивно-ландшафтном земледелии Центрального Черноземья. Курск,,ГНУ ВНИИИЗиЗПЭ РАСХН. 2008, -51 с.
4. Шашко Д.И. Агроклиматическое районирование. М., «Колос», 1967, -335с.
5. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М., 2003, -243с.
6. Сычев В.Г., Шафран С.А. Влияние агрохимических свойств почв на эффективность минеральных удобрений., М., ВНИИА, 2012, -200с.
7. Система применения удобрений, Гродно, ГГАУ, 2011. –418 с.

10. Рациональное применение удобрений, Горки, БГСХА, 2002.–324 с.

11. Nutrient Management Handbook.(First Ed.). Paris, IFA, 2016, -35c.

12. Практические рекомендации по почвенной диагностике азотного питания полевых культур и применению азотных удобрений в сибирском земледелии. - М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018.-48 с.

13. Гамзиков Г.П.Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск, НГАУ, 2013. - 790 с.

14. Ермохин Ю.И.Диагностика питания растений. Омск, ОмГАУ, 1995.-208с.

15. Методика разработки нормативов окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая сельскохозяйственных культур. М.:ВНИИА, 2009, - 8 с.

16. Методика проектирования системы удобрения в адаптивно-ландшафтном земледелии. Курск.:ВНУ ВНИИЗиЗПЭ, 2008, -51 с.

17. Практические рекомендации по почвенной диагностике азотного питания полевых культур и применению азотных удобрений в сибирском земледелии. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018, – 48 с.