

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СМОЛЕНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ»

Н.Е. Самсонова

**ОСНОВЫ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ
РАСТЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ
ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ**

Учебное пособие

Смоленск - 2021

УДК 581.133.8+631.8](075.8)
ББК 28.57+40.40]я73
С 17

Н.Е. Самсонова

**С 17 Основы минерального питания растений и технологий применения удобрений:
Учебное пособие. – Смоленск: ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА, 2021 г. – 256 с.**

Рецензент

А.Ю. ГАВРИЛОВА – канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агротехнологий ОП Смоленский НИИСХ ФГБНУ ЛК

В учебном пособии, в соответствии с последними достижениями науки изложены физиологические основы минерального питания растений, теоретические и практические вопросы агрохимии, связанные с рациональным удобрением сельскохозяйственных культур, инновационные технологиями в области использования удобрений. Большое внимание уделено взаимодействию теории и практики минерального питания растений.

Предназначено для студентов и магистрантов, обучающихся по специальностям агрономического профиля. Может быть использовано студентами других специальностей, изучающих физиологию растений и агрохимию, а также слушателями системы повышения квалификации и переподготовки специалистов АПК.

Печатается по решению научно-методического совета ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА (протокол № 2 от 24 декабря 2021 г.)

УДК 581.133.8+631.8](075.8)
ББК 28.57+40.40]я73

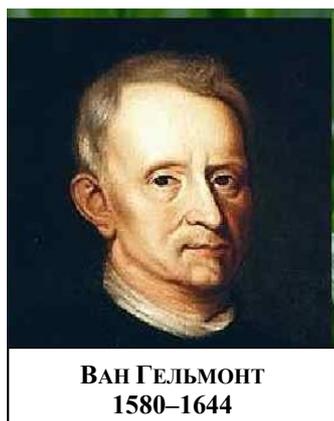
© Самсонова Н.Е., 2021
© Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Смоленская государственная
сельскохозяйственная академия», 2021

ВВЕДЕНИЕ

(Из истории развития взглядов на питание растений)

Регулирование условий минерального питания растений является одной из основ направленного повышения продуктивности возделываемых сельскохозяйственных культур. К.А. Тимирязев отмечал, что физиология растений служит теоретической основой рационального земледелия. Именно в разделе корневого питания физиология растений наиболее тесно соприкасается с практической агрохимией.

Вопрос о том, чем питаются растения и за счет чего строят свое тело, был первым вопросом, возникшим в период зарождения физиологии растений, и вначале она развивалась как наука о почвенном питании.



Первый физиологический опыт с растением провел голландский естествоиспытатель Я.Б. Ван Гельмонт (1629). Для эксперимента он взял иву - растение неприхотливое в питании и очень быстро растущее. Ветку ивы он посадил в глиняный сосуд с заранее взвешенной почвой и в течение пяти лет регулярно поливал ее дождевой водой, а затем взвесил выросшее дерево и отдельно – почву. Оказалось, что масса ветви увеличилась примерно на 75 кг, а масса почвы уменьшилась всего лишь на 56,6 г. Исходя из этого, исследователь сделал вывод о том, что источником увеличения массы растения является не почва, а вода. Этот опыт явился основой для «водной теории» питания растений, которая довольно долго просуществовала в ботанике.

Несмотря на то, что вывод Ван Гельмонта был неверным, его работа имела положительное значение, так как поколебала господствовавшие в то время представления о получении растением всех веществ в готовом виде из почвы. Кроме того, он первым использовал весовой метод в физиологических исследованиях.



И.Р. ГЛАУБЕР
1604-1670

В 1656 году английский алхимик, химик, аптекарь и врач Иоганн Рудольф Глаубер обратил внимание на селитру как питательное вещество для растений. Ее долгое время получали из перегнившего навоза при производстве пороха. Внесение селитры в почву улучшало рост растений, но объяснения этому не было найдено, так как азот был открыт более чем сто лет спустя, и до того времени роль этого элемента в жизни растений была неизвестна.



М.В. Ломоносов
1711–1765

В 1753 г. М.В. Ломоносов впервые высказал научное предположение о воздушном питании растений. В своем трактате «Слово о явлениях воздушных» он писал: *«...преизобильное ращение тучных деревьев, которые на тучном песку корень свой утвердили, ясно изъявляет, что жирными листьями жирный тук из воздуха впитывают, ибо из бессочного песку столько смоляной материи в себя получить невозможно»*. Вскоре это предположение было

экспериментально подтверждено английским химиком Дж. Пристли, швейцарским физиологом Ж. Сенебье и другими учеными того времени, которые доказали, что зеленые листья, поглощая углекислоту, на свету выделяют кислород и запасают углерод.

Научное обоснование корневого питания растений шло медленнее, чем воздушного.



А.Д. ТЭЕР
1752–1828

В конце XVIII – начале XIX в. широкую известность приобрела «гумусовая теория» питания растений, разработанная немецким агрономом А. Тэером. Давно было известно, что более темная почва более плодородна, чем светлая, так как содержит больше органических веществ (гумуса). Тэер утверждал, что растения берут из почвы органические вещества и воду.

Этим он обосновывал необходимость внесения в почву навоза.

Правильно оценивая значение органического вещества почвы, «гумусовая теория» не могла объяснить факты положительного влияния внесения в почву селитры, золы и других минеральных веществ. Несмотря на недостатки «гумусовая теория» сохраняла ведущее положение и пользовалась признанием почти до середины XIX столетия, пока не накопились новые данные о роли минеральных элементов в питании растений.

Один из основоположников отечественной агрономии А.Т. Болотов в книге «Об удобрении земель» (1770) писал, что пища растений в почве *«состоит в воде и некоторых особливых земляных или паче минеральных частичках»*.

Было выявлено положительное влияние на растения калия (Хом, 1757), фосфатов (Дэндоналд, 1795; Соссюр, 1804). В середине XIX века в Европе и Америке стали применять на полях чилийскую селитру.

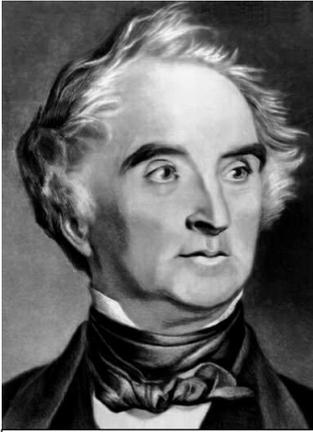


Ж.Б. БУССЕНГО
1802–1887

Крупной вехой в развитии физиологии питания и агрономической химии явились работы французского химика, одного из основоположников агрохимии и одного из основателей научного растениеводства Ж.Б. Буссенго. Он показал, что растения можно выращивать и на чистом песке, если вносить в него золу и селитру, и доказал, что в полевых условиях бобовые травы улучшают азотный баланс. Однако он ошибочно полагал, что бобовые растения по какой-то причине умеют фиксировать молекулярный азот атмосферы. На самом деле, бобовые получают азот путем симбиотической азотфиксации благодаря клубеньковым бактериям, что было показано М.С. Ворониным в 1866 г. и подтверждено Г. Гельригелем.

В исследованиях Буссенго применял точный химический анализ состава почвы и органических продуктов.

В 1840 г. немецкий ученый-химик Юстус фон Либих опубликовал книгу «Химия в приложении к земледелию и физиологии», которая нанесла окончательный удар по «гумусовой» теории. В ней была сформулирована теория минерального питания растений, согласно которой основой плодородия



Ю. Либих
1803–1873

почвы являются минеральные соли и растение питается только неорганическими веществами. Либих утверждал, что свою потребность в азоте растение удовлетворяет за счет аммиака, углекислого аммония и окиси азота из воздуха. Роль перегноя он сводил к обогащению почвы углекислым газом, который в свою очередь ускоряет процессы выветривания материнской породы и способствует тем самым накоплению в почве доступных

растению минеральных питательных веществ. Он первым предложил вносить в почву в качестве удобрения чистые минеральные вещества и запатентовал состав минерального удобрения. Однако потерпел неудачу, так как это удобрение не содержало азота и не растворялось в воде – соли калия и фосфорной кислоты он сплавлял с кремнеземом для предотвращения вымывания их из почвы.

Либих доказывал необходимость полного возврата в почву, прежде всего, тех веществ, которыми она особенно бедна. Кроме того, он считал, что если в почве, например, мало фосфора, то внесением азота или калия создать оптимальные условия питания растений невозможно. Это открытие Либиха, получившее название закона минимума, и его утверждения о необходимости возвращать в почву извлеченные из нее растениями питательные элементы К.А. Тимирязев назвал «одним из важнейших приобретений науки».

Сделав ряд важных открытий, Либих вместе с тем заблуждался, считая, что для питания растений достаточно того азота, который содержится в воздухе, а в навозе самыми ценными являются зольные элементы, поэтому навоз можно сжигать и использовать в качестве удобрения его золу.

Несмотря на то, что минеральная теория Либиха имела недостатки, она сыграла положительную роль в развитии науки о корневом питании, привлекла внимание к проблемам плодородия почвы. Слабые стороны этой теории были исправлены в ходе дальнейших экспериментальных работ.

Ж. Буссенго, Г. Гельригель, М.С. Воронин в середине XIX в. показали роль бобовых в фиксации азота. М.С. Воронин, русский ботаник, доказал образование клубеньков на корнях бобовых из паренхимных тканей и наличие в клубеньках клубеньковых бактерий (1866).

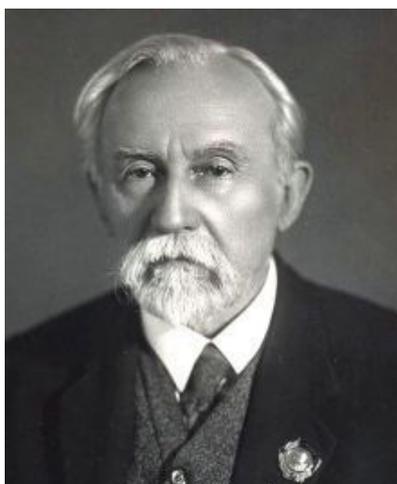
Развитие теории питания растений сопровождалось разработкой и совершенствованием методики постановки эксперимента.

Ж. Буссенго первым широко использовал метод выращивания растений в вегетационных сосудах, который позволил установить особенности поступления в растения элементов минерального питания, расширить представления о значении отдельных элементов в их жизни.

Выращивание растений в воде, песке и других бесплодных средах дало возможность выяснить, какие вещества, в каких количествах и соотношениях надо внести в эти среды, чтобы растение нормально развивалось. Такие питательные растворы были одновременно предложены в 1859 г. Кнопом и Саксом. Питательный раствор Кнопа, с некоторыми усовершенствованиями, применяется и сейчас в физиологических и агрохимических исследованиях.

На основе открытий в области физиологии микроорганизмов стали известны закономерности круговорота отдельных питательных элементов. Основоположником этих исследований явился Луи Пастер. Детальные исследования биологических процессов, происходящих в почве, провел С.Н. Виноградский, который является основателем почвенной микробиологии.

С 60–70 гг. XIX века в России развертываются широкие исследования в области питания растений и применения удобрений. Особенно большое значение имели работы русского публициста-народника, агрохимика А.Н. Энгельгардта, великого русского ученого энциклопедиста Д.И. Менделеева, агрохимика, почвоведом, микробиолога и геоботаника, одного из основателей агрономического почвоведения П.А. Костычева, русского естествоиспытателя, специалиста по физиологии растений, крупного исследователя фотосинтеза К.А. Тимирязева.



Д.Н. Прянишников
1865–1948

Выдающиеся работы в области обмена азотистых веществ в растениях принадлежат Д.Н. Прянишникову – основоположнику отечественной агрохимии, крупному физиологу и биохимику растений, который, обладая поистине энциклопедическими знаниями, обосновал теорию аммиачного и нитратного питания растений, использование фосфоритов на удобрение, необходимость расширения посевов бобовых культур

для повышения плодородия почвы.

Работы Д.Н. Прянишникова сыграли огромную роль в развитии промышленности удобрений, их широкого использования в сельском хозяйстве.



Д.А. Сабинин
1889–1951

Большой вклад в развитие учения о минеральном питании внесли отечественные ученые Д.А. Сабинин, Я.В. Пейве, А.А. Шмук, А.Л. Курсанов и др.

Д.А. Сабинин – советский ботаник, физиолог растений создал научную школу физиологов минерального питания в нашей стране, всесторонне изучил поглотительную деятельность корня, не только

изучил поглотительную деятельность корня, не только минерального питания питательных элементов, но и как важнейшей биохимической лаборатории растения

На развитие теории минерального питания на современном этапе большое влияние оказывают последние достижения в области молекулярной биологии, мембранологии, генетики, гормональной регуляции процессов жизнедеятельности. Они позволяют разрабатывать новые подходы к изучению поступления в клетку питательных веществ, их превращения и передвижения по растению, разрабатывать новые технологии выращивания растений.

Современные знания теории минерального питания растений являются основой рационального применения удобрений, ставящих задачу получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур хорошего качества, целенаправленного регулирования плодородия почвы при высокой экономической эффективности и экологической безопасности.

1 СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О МИНЕРАЛЬНОМ ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ

1.1 НЕОБХОДИМЫЕ РАСТЕНИЯМ ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ: ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ И УСВОЯЕМЫЕ ФОРМЫ

Живое вещество по элементному составу резко отличается от земной коры. В земной коре наиболее распространены кислород, кремний, алюминий и натрий (93% массы). В живых организмах до 99% их массы составляют водород, кислород, углерод и азот.

Такой химический состав живого объясняется свойствами этих элементов. Наиболее важным является способность всех четырех элементов образовывать химически прочные ковалентные связи путем спаривания электронов. Кроме этого углерод, азот и кислород образуют также двойные связи, благодаря чему они могут давать разнообразные химические соединения.

Из всех элементов, способных образовывать ковалентные связи, углерод, азот, водород и кислород имеют самые легкие атомы. Поскольку прочность ковалентной связи обратно пропорциональна атомным массам, то образуемые этими элементами связи являются очень прочными.

Атомы углерода способны взаимодействовать друг с другом, создавая стабильные ковалентные углерод-углеродные связи, причем каждый из них может образовывать такие связи с четырьмя атомами углерода. В результате могут формироваться каркасы множества различных органических молекул с разнообразными конфигурациями, размерами, большим числом функциональных групп.

Таким образом, углерод, кислород, азот и водород оказались в максимальной степени подходящими химическими элементами для формирования макромолекул живых организмов. Эти элементы составляют около 95% сухой массы растений, и их называют *органогенными*.

В тех или иных количествах растения способны поглощать из окружающей среды практически все элементы Периодической системы, но многие из них не являются жизненно необходимыми.

Элемент считается необходимым, если:

– он входит в состав молекул какого-либо необходимого компонента растений, непосредственно участвует в процессах обмена веществ и энергии, и при его отсутствии совершение нормального жизненного цикла становится невозможным;

– недостаток элемента вызывает нарушение жизнедеятельности растений, которое можно устранить внесением этого элемента в питательную среду.

Кроме органогенных элементов в состав растительных тканей входят так называемые *зольные элементы*, на долю которых приходится около 5% сухой массы растений. Они определяются в золе после сжигания растительного материала.

Все необходимые растениям элементы разделяют на *макро-* и *микроэлементы*. Содержание макроэлементов в растениях составляет от десятков целых до сотых долей процента. К ним относят азот, фосфор, калий, сера, кальций, магний, железо. Содержание микроэлементов может составлять от тысячных до стотысячных долей процента. Ими являются марганец, медь, цинк, бор, молибден, кобальт, хлор, никель. Для злаковых, осоковых, хвощей необходим еще кремний, а для свеклы, растений-галофитов – натрий.

1.1.1 МАКРОЭЛЕМЕНТЫ

Азот. Содержание азота составляет около 1,5% сухой массы растений и широко варьирует в различных органах: в корнеплодах и клубнях картофеля – 0,1–0,5%, семенах злаковых – 1,5–3,5%, в семенах бобовых – 4,0–6,0%, в соломе злаковых – 0,4–0,6%, в соломе бобовых – 1,0–1,5%. Это один из главных элементов, необходимых для растений. Он входит в состав аминокислот, из которых построены простые и сложные белки, являющиеся важнейшей частью

протопласта и выполняющие многообразные жизненно важные функции. Белки, обладающие ферментативной активностью, имеют регуляторное значение, так как ускоряют течение биохимических реакций. Клеточные оболочки также содержат 1–8% структурных белков.

Азот входит в состав нуклеиновых кислот (РНК, ДНК), играющих исключительно важную роль в процессах обмена веществ, хранения и передачи наследственной информации. Он содержится в хлорофилле, фосфолипидах, алкалоидах, витаминах, фитогормонах и во многих других органических соединениях растительных клеток. Часть азота в растениях содержится и в минеральной форме (нитратной, аммонийной).

В почве азот находится в минеральной (нитратной, аммонийной) и органической форме (в составе гуминовых и фульвокислот, аминокислот, амидов, полипептидов, и других соединений).

Среди всех этих соединений, лучшими источниками азота являются аммонийные соли и соли азотной кислоты. Азот может поступать в растения в форме катиона аммония (NH_4^+) и нитратного аниона (NO_3^-). Доказана возможность усвоения аминокислот и амидов, но их роль в питании растений незначительна. Азот органического вещества становится доступным для растений только после его минерализации, которая протекает при участии почвенной микрофлоры.

Так как азот входит в состав очень многих соединений, то при его недостатке у растений происходят многочисленные нарушения в обмене веществ, приводящие к ухудшению роста, развития и формирования урожая. Характерным признаком недостатка этого элемента у большинства культур является *хлороз листьев* (рис. 1). Он выражается в том, что нижние листья сначала становятся бледно-зелеными, потом желтыми и затем засыхают. Это вызвано нарушением синтеза хлорофилла, в состав которого входит азот. На молодых листьях эти признаки голодания появляются позже, так как азот оттекает в них из более старых нижних листьев.



Рисунок 1 – Визуальные признаки дефицита азота на льне и кукурузе. Справа – растения, удобренные азотом (W. Bergmann, 1983)

При недостатке азота накапливаются углеводы, так как они не используются для синтеза аминокислот и других азотистых соединений. В этом случае сахара часто расходуются на синтез антоцианов, которые вызывают появление красной окраски листьев.

На растения отрицательно влияет как недостаток, так и избыток азота. Высокие дозы азота могут вызывать ухудшение качества урожая за счет накопления минеральных форм азота, прежде всего нитратов, уменьшения содержания углеводов, витаминов, незаменимых аминокислот в белке, что снижает его биологическую ценность. Кроме того, в этих условиях возрастает опасность полегания растений, поражения их болезнями и вредителями, снижения урожайности. Избыток азота особенно опасен при недостатке калия и фосфора. Внешние признаки избытка азотного питания на огурце и салате показаны на рисунке 2.

Фосфор. Содержание фосфора в растениях составляет в среднем 0,2% сухой массы. В растениях он находится преимущественно в органической форме и в небольших количествах – в неорганической. Неорганические формы представлены ортофосфорной кислотой и ее кальциевыми, калиевыми, магниевыми солями. Основной запасной формой этого элемента у растений является фитин ($C_{12}H_{22}O_{44}P_{10}Ca_7Mg$ – кальций-магниевая соль инозитфосфорной кислоты), который в больших количествах накапливается в

семенах (до 80% общего фосфора). В вегетативных органах на долю фитина приходится до 2% общего фосфора.



Рисунок 2 – Визуальные признаки избытка азота на огурце и салате
(W. Bergmann, 1983)

Роль фосфора в жизни растений определяется тем, что он входит в состав таких важнейших соединений, как нуклеотиды и нуклеиновые кислоты, фосфолипиды, фосфопротеиды, фосфорные эфиры сахаров, витамины и другие важнейшие органические соединения. Этот элемент является ключевым в энергетическом обмене клетки.

Первостепенное значение для жизнедеятельности клетки имеют нуклеиновые кислоты (ДНК и РНК), которые участвуют в хранении и передаче наследственных свойств организма, синтезе белков, росте и размножении растений. Посредством участия в синтезе белков (в том числе и ферментов) нуклеиновые кислоты контролируют все процессы обмена веществ в клетке. Соединяясь с белками, нуклеиновые кислоты образуют хроматин, рибосомы и другие нуклеопротеиды растительной клетки.

Нуклеиновые кислоты содержатся во всех органах и тканях, в любой клетке растений. Особенно высоким их содержанием отличаются зародыши семян, пыльца, образовательные ткани.

Большое значение в жизни растений имеют фосфолипиды. В растительной клетке они составляют основу мембран, определяя структуру и функциональную активность протопласта и его органелл. Через мембраны происходит обмен веществ, энергии и информации между органеллами клетки,

между клеткой и окружающей средой; на них протекают сложные процессы энергетического обмена (фотосинтетическое и окислительное фосфорилирование), многочисленные биохимические реакции синтеза, окисления, гидролиза, переноса функциональных групп.

Фосфор входит в состав фосфопротеидов – соединений молекул белка с фосфорной кислотой. К этой группе относятся и белки-ферменты, ускоряющие течение биохимических реакций.

Фосфорные эфиры сахаров (сахарофосфаты) имеются во всех тканях и органах растений. Присоединение фосфорной кислоты к молекулам сахаров повышает их реакционную способность и возможность участвовать в биохимических реакциях. Эти соединения участвуют в фотосинтезе, дыхании, образовании сложных углеводов из более простых, во взаимных превращениях углеводов.

Фосфор имеет особое значение в энергетическом обмене клетки, так как именно высокоэнергетические (макроэргические) соединения с высоким потенциалом переноса групп, такие как АДФ, АТФ, ацетилфосфат, 1,3-дифосфоглицериновая кислота, фосфоенолпировиноградная кислота, поставляют энергию для многочисленных биохимических процессов.

Основная роль в энергетическом обмене клетки принадлежит аденозинтрифосфорной кислоте (АТФ).

АТФ является основным соединением, в котором аккумулируется энергия, высвобождающаяся при окислении органических соединений в клетках, а также основным переносчиком и поставщиком энергии для многочисленных процессов синтеза. Перенос фосфатной группы от АТФ на молекулу воды (гидролитическое отщепление остатка фосфорной кислоты) в стандартных условиях сопровождается высвобождением энергии (около 33,6 кДж/моль).

Как переносчик энергии АТФ универсальна и участвует в синтезе белков, жиров, крахмала, сахарозы, ряда аминокислот, амидов, процессах фотосинтеза, дыхания, превращения веществ в растениях.

Фосфор участвует в окислительно-восстановительных процессах в клетке. Нуклеотиды НАД⁺, НАДФ⁺, ФАД, содержащие остатки фосфорной кислоты, являются коферментами дегидрогеназ – ферментов, катализирующих окисление веществ путем отделения от них атомов водорода.

По существу, все превращения фосфора в клетке и его участие в процессах обмена веществ и энергии сводятся к присоединению (*фосфорилированию*) или переносу (*трансфосфорилированию*) остатка фосфорной кислоты.

Фосфор в растения поступает только из почвы и удобрений, других его источников в природе не существует. В почве он содержится в органической и минеральной форме, которая в большинстве почв преобладает. Растения способны усваивать преимущественно ионы H_2PO_4^- и HPO_4^{2-} .

Основным источником фосфатного питания растений служат соли ортофосфорной кислоты. Дигидрофосфаты двухвалентных катионов ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ и $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$), а также все соли фосфорной кислоты с одновалентными катионами хорошо растворимы в воде и фосфат-ионы из них легко поступают в растения.

Гидрофосфаты двухвалентных катионов (CaHPO_4 , MgHPO_4) нерастворимы в воде, но они хорошо растворяются в слабых кислотах, в том числе органических, которые образуются в почве в результате деятельности почвенных микроорганизмов. Поэтому анионы фосфора (HPO_4^{2-}) из таких соединений также хорошо усваиваются растениями.

Растворимость соединений типа $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ зависит от кислотности почвы: чем она выше, тем лучше доступность фосфора растениям. Лишь некоторые культуры способны усваивать из них фосфор независимо от кислотности почвы. Это люпин, гречиха, горчица, эспарцет, горох, и конопля. Способность их питаться за счет труднорастворимых фосфатов объясняется корневыми выделениями растений, имеющих кислый характер. Так, в пленке раствора, прилегающей к поверхности корневых волосков люпина, рН составляет 4–5, тогда как клевера – 7–8. Благодаря кислым корневым выделениям люпин, в

отличие от клевера, переводит фосфор из формы $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ в доступную форму CaHPO_4 и $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. Клевер же такой способностью не обладает.

Соли фосфорной кислоты с трехвалентными катионами (AlPO_4 , FePO_4) являются практически недоступными для растений.

Все перечисленные соли могут присутствовать в почве одновременно. При недостаточной обеспеченности почвы усвояемыми формами минеральных фосфатов используют фосфорные удобрения.

Наряду с минеральными фосфатами высшие растения обладают способностью усваивать простейшие органические вещества, содержащие фосфор, такие как фитин, глицерофосфат кальция. Это связано с тем, что корни выделяют в почву фермент фосфатазу, которая отщепляет фосфорную кислоту от этих соединений, делая ее доступной для питания растений.

При недостатке фосфора слабо развивается корневая система, корневые волоски быстро отмирают. Изменяется круговорот сахаров в растении. Это выражается в том, что вначале сахара, образующиеся в листьях в ходе фотосинтеза, транспортируются в корень. Чтобы быть вовлеченными в обмен веществ, они должны быть превращены в фосфорные эфиры сахаров (с участием АТФ). Однако при недостатке фосфора в клетках корней образуется меньше АТФ и фосфорилирование сахаров ослабляется. Неиспользованные избыточные сахара возвращаются обратно в листья, где могут превращаться в антоцианы, обуславливая появление красной и фиолетовой окраски листьев (рис. 3). Первые признаки дефицита появляются на нижних листьях (фосфор способен к реутилизации).

Торможение гликолиза и реакций цикла Кребса в корнях при недостатке фосфора приводит к уменьшению образования кетокислот, необходимых для связывания аммонийного азота и, как следствие, к нарушению азотного обмена. Недостаточное образование АТФ ухудшает энергетический обмен в растениях. Приостанавливается рост растений, задерживается созревание плодов. У озимых растений снижается морозоустойчивость.

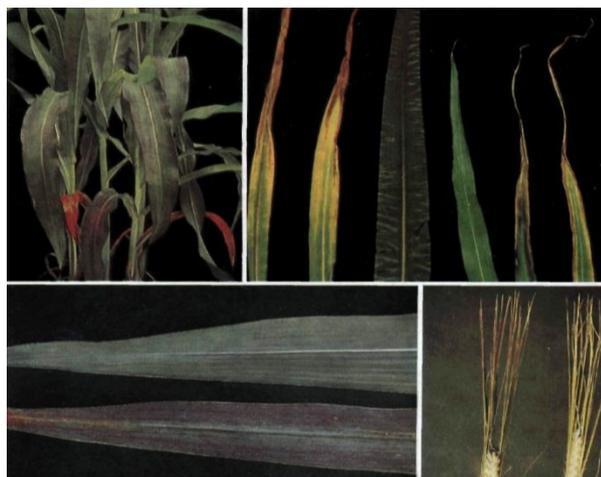


Рисунок 3 – Признаки дефицита фосфора на кукурузе и ячмене
(W. Bergmann, 1983)

Внесение в почву основных элементов питания в правильных соотношениях способствует более интенсивному включению фосфора в состав органических соединений. Недостаток отдельных элементов, как и их избыток, нарушает фосфорный обмен. В этом случае поглощаемый фосфор в большем количестве остается в растениях в виде минеральных соединений. Изменения в фосфорном обмене влияют на качество урожая: содержание белка в зерне, сахара в сахарной свекле, крахмала в картофеле, жира в семенах подсолнечника.

Изменение соотношения азота к фосфору в растениях меняет интенсивность и направленность процессов обмена веществ. При недостатке фосфора замедляется синтез белков и в тканях растений накапливается нитратный азот. Оптимальное питание растений фосфором способствует улучшению их развития, ускорению созревания, повышению устойчивости хлебных злаков к полеганию холодо-, морозо-, и засухоустойчивости. Под действием фосфора улучшается качество продукции: повышается содержание белков, сахаров, крахмала у зерновых и овощных культур, прочность и тонина волокна у прядильных культур.

Роль фосфора в формировании урожая и качества продукции приведена на рисунке 4.



Рисунок 4 – Роль фосфора в формировании урожая и качества продукции

Калий присутствует в клетках растений в основном в ионной форме и составляет в среднем 0,5–1,2% сухой массы растений. Большая часть калия (не менее 4/5 общего содержания) в растении находится в клеточном соке и извлекается водой, может также вымываться дождем из старых листьев; меньшая часть адсорбирована коллоидами и незначительная (менее 1% от общего содержания) – прочно связана с белками митохондрий и хлоропластов. Калий легко подвижен в растениях. Частично он выделяется ночью через корневую систему в почву и вновь поглощается днем.

Калий поступает в корневую систему в виде катиона K^+ и легко перемещается по растению. В наибольших количествах он находится в молодых растущих тканях растений: меристемах, молодых листьях, побегах, почках, поэтому снабжение этим элементом особенно важно на первом этапе роста растений (две-три недели после прорастания семян).

Значение калия в жизнедеятельности растений определяется его участием в регуляции осмотического давления, вязкости цитоплазмы и водоудерживающей

способности клеток и тканей. Изменение соотношения между калием и кальцием влияет на осмотические свойства клеток и является фактором регуляции устойчивости растений к засухе, морозам и другим неблагоприятным условиям внешней среды.

Калий нейтрализует отрицательные заряды неорганических и органических ионов, создает электрический градиент на мембранах в процессах транспорта веществ, участвует в регуляции осмотических процессов в клетке, поглощении и транспорте воды по растению, влияет на превращение и передвижение углеводов путем активирования ферментов амилазы и фруктофуранозидазы. Он не входит в состав молекул ферментов, но известно более 60-ти ферментов, которые активируются калием.

Калиевые насосы регулируют устьичные движения. Приток ионов калия в замыкающие клетки устьиц вызывает осмотическое поступление воды в них и открывание устьиц. При остром недостатке этого элемента устьица закрываются, ухудшая условия поступления в лист CO_2 , оттока сахаров из листа и в целом процесса фотосинтеза.

Калий способствует усвоению растениями иона аммония. При аммонийном питании резко возрастает потребность в снабжении этим элементом, особенно у злаков. При недостатке калия обильное аммонийное питание может приводить к излишнему накоплению NH_4^+ и отравлению растения.

При недостатке калия ухудшается энергетический обмен, так как замедляется синтез АТФ, снижается интенсивность синтеза белка, подавляется синтез сахарозы и ее транспорт по флоэме. Хорошее снабжение растений калием особенно важно для меристем. При его недостатке верхушечные почки отмирают, при этом усиливается рост боковых побегов и растение приобретает форму куста. Ухудшается деление и растяжение клеток, в результате укорачиваются междоузлия, растение может приобрести розеточную форму.

Калий способствует накоплению растениями крахмала, сахарозы, моносахаридов, поэтому он находится в повышенных количествах в органах,

где синтезируются эти вещества. Особенно высока концентрация калия в овощных культурах – томатах, капусте, а также в картофеле, льне, табаке, цитрусовых. Превосходит все культуры по потреблению калия подсолнечник. Эти культуры называют *калиелюбивыми*. Так, вынос калия (K_2O) с урожаем картофеля достигает 180 кг/га, капусты – 280, семенами подсолнечника – 990 кг/га.

Многообразные функции калия в растениях определяют значение калийных удобрений в формировании высокого урожая сельскохозяйственных культур в благоприятных и стрессовых условиях среды (рис. 5).



Рисунок 5 – Роль калия в формировании урожая и качества продукции

Внешними признаками недостатка калия в растениях является формирование листьев неправильной формы, непропорционально больших, вдоль краев листьев появляется потемнение тканей, затем их отмирание. Признак получил название «краевой ожог» или «краевой запал» (рис. 6). Первые признаки появляются на нижних старых листьях (калий способен к реутилизации).

Сера составляет 0,2-1,0% сухой массы растений. Обычно только небольшое количество этого элемента находится в растениях в минеральной форме, как правило, в виде соли CaSO_4 . Основная часть серы, поглощенной в виде сульфата, восстанавливается до уровня органических соединений, содержащих сульфгидрильные (тиоловые группы) – SH-группы, обладающие высокой реакционной способностью. Процесс восстановления сульфата происходит преимущественно в листьях (в хлоропластах) и является ключевым в ассимиляции серы растениями. Сульфидрильные группы входят в состав многих веществ биологического происхождения. Большая часть серы находится в белках – в составе аминокислот метионина, цистеина и цистина.



Рисунок 6 – Признаки дефицита калия на кормовой свекле и подсолнечнике
(W. Bergmann, 1983)

Важнейшая функция серы в белках заключается в участии SH-группы в образовании ковалентных и водородных связей, поддерживающих трехмерную структуру белка. Дисульфидные мостики ($-\text{S}-\text{S}-$ связи) между полипептидными цепями или двумя участками одной и той же цепи

стабилизируют структуру белковых молекул и поддерживают нативное состояние белков.

Сера участвует в окислительно-восстановительных процессах в клетке, благодаря обратимому переходу восстановленных соединений в окисленные: $2(-SH) \leftrightarrow -S-S-$ (при взаимопревращениях цистеин \leftrightarrow цистин). В цистине имеется дисульфидная ($-S-S-$), а в цистеине сульфгидрильная ($-SH$) группы. Сульфгидрильная группа при окислении легко отдает водород и переходит в окисленную дисульфидную группу с образованием цистина.

В состав трипептида глутатиона также входит аминокислота цистеин, что определяет участие глутатиона в окислительно-восстановительных процессах: $2SH\text{-глутатион} \leftrightarrow (S-S\text{-глутатион})$.

Сера является составной частью кофермента А и витаминов (тиамина, биотина, липоевой кислоты), горчичных и чесночных масел. Роль серы в составе кофермента А ($CoA-SH$) определяется наличием SH-группы, которая участвует в образовании высокоэнергетической тиоэфирной связи ацетилкофермента А ($CH_3CO\sim CoA$). Ацетил-КоА участвует в метаболизме жирных кислот, аминокислот, углеводов, веществ вторичного обмена.

Растения поглощают серу в форме сульфат-аниона (SO_4^{2-}), источником которого являются соли серной кислоты. Растения могут усваивать серу также из воздуха в виде сернистого газа (SO_2), однако положительное влияние SO_2 на растения наблюдается только при низких концентрациях его в атмосфере (0,1–0,2 мг SO_2/m^3 воздуха). При высоких концентрациях диоксид серы становится токсичным и вызывает некрозы листьев.

В почве сера находится в органической и неорганической форме. В большинстве почв преобладают органические соединения серы, которые становятся доступными для растений только после их минерализации. Основная неорганическая форма – сульфаты кальция, магния, натрия.

Внешние признаки дефицита серы аналогичны признакам недостатка азота: хлороз, торможение роста и синтез антоцианов. Причина сходства заключается в том, что сера, входящая в состав аминокислот метионина,

цистина и цистеина, как и азот, является необходимым компонентом белков. При недостатке серы синтез белков угнетается, хлоропласты разрушаются, накапливаются сахара, которые затем превращаются в антоцианы. Задержка синтеза витамина В₁, приводит к снижению скорости роста корней и растений в целом.

Кальций составляет в среднем 0,2% сухого вещества растений, поглощается корневой системой в форме катиона Ca²⁺. В клетке он связан с пектиновыми веществами в форме пектатов кальция, которые составляют основу срединных пластинок клеточных оболочек. В растении кальций малоподвижен, накапливается в старых органах и тканях в виде солей щавелевой, лимонной и других кислот. В ходе старения и снижения содержания воды в тканях эти соли образуют кристаллы и ограничивают его подвижность. В семенах кальций присутствует преимущественно в форме фитина (инозитфосфорной кислоты).

Кальций выполняет важную роль в обмене веществ. Он повышает вязкость цитоплазмы, стабилизирует структуру мембран и ионные потоки через них, влияет на биоэлектрические явления, активность ферментов, поляризацию клеток и тканей. Кальций способствует поддержанию структуры хромосом, митохондрий, рибосом. На поверхности корней он содействует устранению токсичности избыточных концентраций ионов алюминия, аммония, марганца, железа путем ограничения их поступления. Выступает в роли иона-антагониста при создании физиологически уравновешенного ионного состава среды для питания растений.

Большинство почв обеспечено кальцием. Резко выраженное кальциевое голодание встречается на сильнокислых и засоленных почвах, на торфяниках.

При дефиците кальция в первую очередь страдают корни. Недостаток его вызывает набухание пектиновых веществ, что приводит к ослизнению клеточных стенок и разрушению клеток, корневые волоски при этом не образуются. Пектиновая кислота вызывает ослизнение и даже склеивание соседних листьев. Корни, листья и отдельные участки стебля изгибаются,

загнивают и отмирают (рис. 7). Изменяется структура хромосом и нарушается митотический цикл, что приводит к значительным повреждениям точек роста.

Признак вызван дефицитом пектата кальция в стенках клеток, обуславливающего прочность их стенок. Кальций не способен к реутилизации, поэтому признаки дефицита появляются на верхних, молодых частях растений.



Рисунок 7 – Подсолнечник и рапс при остром дефиците кальция
(W. Bergmann, 1983)

При избытке фосфорно-калийного питания и дефиците кальция у плодов томата появляется сухая гниль на верхушке плода (рис. 8).



Рисунок 8 – Сухая гниль на верхушке плода томата при Ca-дефиците
(W. Bergmann, 1983)

Магний составляет в среднем около 0,2% сухой массы растений. Поступает в корневую систему в форме катиона Mg^{2+} . В зеленых частях растений входит в состав хлорофилла (около 10% общего содержания его в растении). Остальная часть магния находится в пектиновых веществах, фитине, солях минеральных и органических кислот.

Магний подвижен в растениях и в больших количествах находится в молодых клетках и тканях, а на завершающих этапах онтогенеза – в генеративных органах и запасающих тканях. Подвижность магния объясняется тем, что около 70% его количества входит в состав солей органических и неорганических кислот.

Влияние магния на процессы обмена веществ связано с тем, что он активизирует многие ферменты или входит в их состав. Магний способен связывать фермент с субстратом по типу хелатной связи (клевшевидная связь между органическим веществом и катионом), а также влиять на работу ферментов путем взаимодействия с продуктами реакции, сдвигая равновесие в сторону их образования. Этот элемент участвует в реакциях переноса фосфатной группы (синтез веществ, энергетический обмен), карбоксилирования и декарбоксилирования, реакциях гликолиза, цикла Кребса, молочнокислого и спиртового брожения.

Магний поддерживает структуру мембран и рибосом. Большая и малая субъединицы рибосом соединяются только в присутствии магния. Поэтому при недостатке магния рибосомы распадаются на субъединицы и ослабляется синтез белка. Это приводит к увеличению в 1,5–4 раза количества свободных аминокислот.

Бедны магнием подзолистые почвы, богаты – сероземы. Черноземные почвы занимают промежуточное положение.

При дефиците магния листья приобретают «мраморовидную» окраску: жилки старых листьев остаются зелеными, а ткани между ними обесцвечиваются (рис. 9). Это связано с нарушением синтеза хлорофилла, в

состав которого входит магний. Магний способен к реутилизации, поэтому первые признаки появляются на нижних, закончивших развитие листьях.

Железо составляет 0,08% сухой массы растения. Поступает в корневую систему в виде катиона Fe^{3+} , а в надземные органы транспортируется в основном в форме его цитратной соли. Основная физиологическая роль железа связана с его способностью переходить из окисленной формы (Fe^{3+}) в восстановленную (Fe^{2+}) и обратно:



Рисунок 9 – «Мраморовидная» окраска листьев при Mg-дефиците у кукурузы (W. Bergmann, 1983) и настурции (Н.Е. Самсонова)

Железо принимает участие в функционировании основных окислительно-восстановительных систем фотосинтеза и дыхания, так как входит в состав переносчиков электронов в электрон-транспортной системе окислительного и фотосинтетического фосфорилирования (цитохромы, ферредоксин). Железо входит в состав таких ферментов как цитохромоксидаза, каталаза, пероксидаза, нитратредуктаза, нитритредуктаза, нитрогеназа и др. Он необходим для образования хлорофилла, так как участвует в синтезе его предшественников – аминолевулиновой кислоты и протопорфиринов. Поэтому недостаток железа приводит к глубокому хлорозу (побелению) листьев. В хлоропластах железо входит в состав реакционных центров фотосистем I и II.

Запасной формой железа у растений является ферритин – железосодержащий белок. На долю железа у него может приходиться до 23% массы ферритина.

При недостатке железа ухудшается фотосинтез, опадают бутоны, отмирают точки роста, плохо формируется корневая система. Дефицит железа вызывает интенсивный хлороз листьев, в первую очередь молодых (рис. 10). Наблюдается при высоком содержании Mn, высоких дозах фосфора, извести, меди и цинка.

Хлороз быстро исчезает и зеленая окраска листа восстанавливается, если на листья нанести раствор хлорного железа. В этом случае синтез хлорофилла восстанавливается.

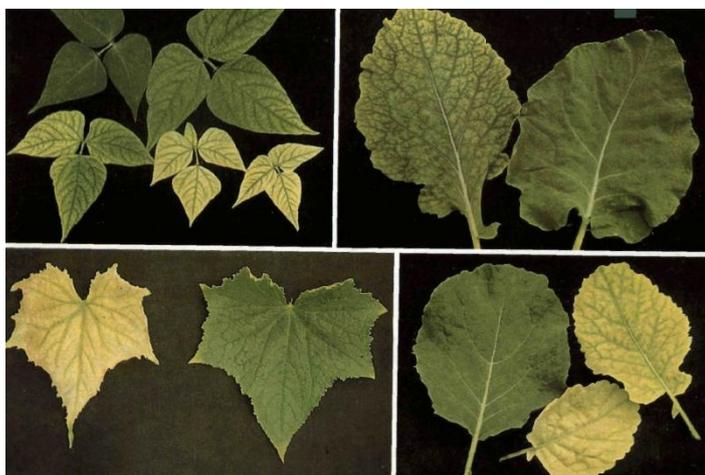


Рисунок 10 – Симптомы сильного дефицита железа на малине и ежевике
(W. Bergmann, 1983)

Железо не способно к реутилизации, в старых листьях оно образует нерастворимые оксиды, фосфаты и комплексы со связывающим его белком фитоферритином.

Кремний поступает в растения из почвы, где по распространенности он занимает второе (после кислорода) место и присутствует в виде кварца, аморфного диоксида кремния, полевых шпатов, вермикулита, смектита, каолина, ортоклаза, плагиоклаза и других соединений. Валовое содержание кремния зависит от гранулометрического состава и генезиса почв. В глинистых почвах его содержится 20–35%, в песчаных – 45–49, в верховом торфе – 1%.

Подвижный кремний составляет всего 1–3% от общего и не превышает 150–200 мг/кг почвы. Растениями он поглощается в виде ортокремниевой кислоты (H_4SiO_4) и силикат-иона.

Кремний является питательным элементом зольного типа и присутствует в любом живом организме. В растениях он находится в форме ортокремниевых эфиров оксиаминокислот, оксикарбоновых кислот, полифенолов, углеводов, стероидов, Si-N-производных аминокислот, аминсахаров и пептидов, а также в виде минеральных соединений. В злаковых растениях до 60% кремния связано с белками, около 11% – с липидами, более 9% – с клетчаткой, около 5% – с пектином, менее 3% – с лигнином.

Кремний концентрируется в надземной части растений, его больше в листьях и стеблях, чем в корнях, в листьях верхнего яруса – больше, чем в средних и нижних.

В сухом веществе растений содержится 0,1–10% Si, что эквивалентно или даже больше, чем азота (0,5–6%), фосфора (0,15–0,5), калия (0,8–8%) или серы (0,2–0,4%). Больше всего Si накапливают однодольные растения (рис, пшеница, ячмень, сорго, сахарный тростник, бамбук и др.), это растения-кремниевилы.

История взглядов на роль Si в живой природе начинает свой отсчет с XIX века, когда было установлено его наличие в тканях растений и установлено, что помощью силикатов можно повышать урожайность сельскохозяйственных культур. Было высказано предположение о защитных свойствах кремния, подтвержденное последующими многочисленными исследованиями.

Тот факт, что высшие растения могут успешно завершать свой цикл развития в лишенных кремния искусственно созданных средах, первоначально привел к формированию ошибочного мнения об отсутствии его необходимости для растений. В реальной полевой обстановке, в которой могут проявляться многообразные стрессовые ситуации биотического (болезни, вредители и др.) и абиотического характера (низкие или высокие температуры, избыток солей и тяжелых металлов в почве, засуха и др.) кремний выполняет особую защитную функцию. Лишенные Si растения более склонны к нарушениям роста, развития

и размножения. Это единственный питательный элемент, который не нарушает состояние растений при его избытке. Известно, что кремний – один из основных элементов и в животном организме. Его нехватка губительно сказывается на состоянии костной ткани, волос, кожи, ногтей, иммунной системы.

Положительное влияние кремния на рост и развитие растений обеспечивается улучшением фотосинтеза и повышением их устойчивости к стрессорам биотической и абиотической природы (рис. 11).



Рисунок 11 – Положительное влияние кремния на растения
(Источник: Trends Plant Sci. 2006, 8)

Устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды в присутствии кремния обусловлена следующими факторами:

- увеличением площади листьев и объема корневой системы;
- в соединениях с белками, лигнином, пектином и клетчаткой Si повышает толерантность клеток к низким и высоким температурам;
- снижением содержания в листьях активных форм кислорода и изменением активности ферментов (аскорбатпероксидазы, аскорбатоксидазы и глутатионоксидазы, каталазы и пероксидазы);

- повышением устойчивости хлебов к полеганию, к поражению вредителями и болезнями (за счет упрочнения клеточных стенок);
- снижением транспирации, перестройкой структуры клеточной воды, снижением водного дефицита в тканях, повышением их водоудерживающей способности;
- активным участием в нуклеиновом, белковом, углеводном обмене, фосфолировании, транспорте протеинов и углеводов;
- улучшением условий минерального питания растений

Кремний оказывает положительное влияние на качество урожая. Под его действием повышается содержание простых и сложных углеводов аскорбиновой кислоты, белка, снижается накопление нитратов и тяжелых металлов в растительной продукции. В целом положительное влияние кремниевых удобрений на качество урожая показано на 30 видах сельскохозяйственных культур (зерновых, фруктовых и овощных).

Отсутствие широкого использования кремниевых удобрений в земледелии имеет ряд причин, среди которых:

- отсутствие надежной информации об обеспеченности почв подвижными формами кремния и ее соотношения с потребностями в Si сельскохозяйственных культур;
- нет контроля содержания кремния в растительных тканях;
- мнение, что существуют растения-аккумуляторы кремния и остальные растения, которые его не накапливают (хотя на самом деле все растения содержат определенное количество кремния, который необходим для их роста и развития);
- недостаток исследований, демонстрирующих экономические преимущества применения кремния; отсутствие пропаганды пользы кремния в стрессовых условиях выращивания сельскохозяйственных культур, а также информации о кремнии как о важном питательном элементе в вузовских учебниках.

При решении этих проблем использование Si удобрений станет стандартной практикой в полеводстве и садоводстве,

1.1.2 МИКРОЭЛЕМЕНТЫ

Необходимым условием получения высоких урожаев является наличие в почве в достаточном количестве микроэлементов в доступной для растений форме. Несмотря на то, что они требуются растениям в очень незначительных количествах (содержание в сухой массе растений составляет тысячные и сотысячные доли процентов), без микроэлементов нормальная жизнедеятельность растений невозможна.

Благодаря способности ряда микроэлементов менять свою валентность, они занимают центральное место в регулировании окислительно-восстановительных реакций в процессах дыхания, фотосинтеза, усвоения молекулярного азота.

Микроэлементы входят в состав витаминов, выступают активаторами ферментов, входя в состав их активных центров, влияют на проницаемость клеточных мембран и поступление элементов питания в растения, повышают устойчивость растений к болезням и неблагоприятным условиям среды.

Недостаток микроэлементов снижает урожайность сельскохозяйственных культур и ухудшает качество продукции. Средние прибавки урожаев от их применения составляют не менее 10–12%. Наибольшее использование в земледелии России имеют борные, медные, молибденовые, цинковые, марганцевые удобрения.

Бор поступает в растения в виде аниона BO_3^{3-} . В клетках больше всего бора содержится в рибосомах, мембранах эндоплазматического ретикулума, в клеточных стенках, в хроматине. Значительное количество его находится в цветках.

В отсутствие бора часто не образуются пестики и пыльники, пыльца совсем не формируется или формируется нежизнеспособной, завязи опадают, отмирают точки роста. Все это определяет особую роль бора в формировании

репродуктивных органов: без бора у растений нарушается функция размножения.

Бор имеет специфическое значение для роста, благодаря его уникальной роли в фенольном обмене. Согласно концепции М.Я. Школьника (1974) при недостатке бора в клетках двудольных растений накапливаются фенолы и ауксины. Это нарушает синтез белков и нуклеиновых кислот; затем нарушаются структура клеточных оболочек и ритм деления клеток, появляются уродливые изменения в формирующихся листьях. Впоследствии под влиянием накапливающихся фенольных соединений возрастает проницаемость тонопласта для полифенолов. Это приводит к выходу полифенолов из вакуоли в цитоплазму и окислению их до токсических хинонов, которые приводят к отмиранию конусов нарастания. Анатомические исследования указывают на прекращение деления клеток в меристеме. Наряду с этим останавливается рост побегов и корней; листовые пластинки утолщаются, скручиваются, становятся ломкими, приобретают уродливые формы; нарушается развитие сосудистой системы, вплоть до полной потери ими проводимости; ткани плохо дифференцируются. Многократная гибель верхушечных почек и возобновление роста боковых побегов приводит к уменьшению или отсутствию образования цветочных почек, образованию «ведьминых метл» у древесных растений, уродливым изменениям формы органов, к ряду заболеваний, например, «гнили сердечка» и дуплистости корнеплодов сахарной свеклы (рис. 12), твердоплодности у плодовых (рис. 13) и другим патологиям.

Особенно требовательны к обеспеченности бором двудольные растения. При его недостатке они часто погибают уже в самом раннем возрасте. Многие злаки устойчивы к недостатку бора и признаки борного голодания проявляют только при формировании репродуктивных органов.

Недостаток бора отмечается на легких по гранулометрическому составу и карбонатных почвах, его подвижность снижается при известковании кислых почв.



Рисунок 12 – «Гниль сердечка» и дуплистость корнеплода сахарной свеклы при дефиците бора (W. Bergmann, 1983)



Рисунок 13 – Проявление острого дефицита бора на плодах груши и яблони – развитие пробковой ткани (W. Bergmann, 1983)

Марганец поступает в растения в виде ионов Mn^{2+} и в растениях находится в разной степени окисления (Mn^{2+} , Mn^{3+} , Mn^{4+}). Несмотря на значительное содержание марганца в почве, большая его часть труднодоступна растениям, особенно на почвах с нейтральной реакцией. Марганец характеризуется высоким окислительно-восстановительным потенциалом. Он участвует в фотолизе воды в ходе световой фазы фотосинтеза ($2Mn^{4+} + 2H_2O \rightarrow 2Mn^{2+} + 4H^+ + O_2$), а также в восстановлении CO_2 , в поддержании структуры хлоропластов. Без марганца хлорофилл на свету быстро разрушается. Он активирует около 40 ферментов, участвующих в процессах окисления–восстановления, декарбоксилирования, гидролиза, в том числе

катализирующих реакции цикла Кребса. Поэтому обеспеченность растений марганцем важна для нормального осуществления процесса дыхания. Этот элемент участвует в азотном обмене, в частности, в восстановлении нитратов на этапе превращения гидроксилamina в аммиак. Поэтому при его недостатке ухудшается использование нитратов растениями. Марганец влияет на синтез белков также путем регулирования активности ДНК-полимеразы и РНК-полимеразы.

Особенно чувствительны к недостатку марганца корнеплоды, картофель, злаковые (рис. 14).

Медь поступает в растения в виде ионов Cu^{2+} и находится, в основном, в хлоропластах и митохондриях. В листьях некоторых растений почти половина всей меди сконцентрирована в белке пластоцианине, сосредоточенном в хлоропластах. Благодаря способности к обратимому изменению валентности меди ($\text{Cu}^{2+} + \bar{e} \leftrightarrow \text{Cu}^{+}$), пластоцианин участвует в окислительно-восстановительных процессах в клетке, переносе электронов от фотосистемы II к фотосистеме I.



Рисунок 14 – Листья растений картофеля и ячменя с пятнами хлороза и точкообразными некрозами при Mn-дефиците (W. Bergmann, 1983)

Медь входит в состав ферментных систем класса оксидаз (полифенолоксидаза, аскорбатоксидаза, цитохромоксидаза). Поскольку

полифенолоксидаза регулирует содержание в растениях ауксинов и ингибиторов роста фенольной природы, то от обеспеченности медью зависит их устойчивость к полеганию и неблагоприятным факторам внешней среды. Медь необходима для деятельности ряда ферментов белкового обмена, таких как нитритредуктаза, гипонитритредуктаза, протеаза.

При недостатке меди у растений наблюдается задержка роста и цветения, хлороз, белеют и отмирают кончики листьев, хлорофилл по краям листовых пластинок разрушается, потеря тургора и увядание растений (рис.15). Недостаток меди проявляется на кислых, песчаных, торфяных почвах.

Молибден поступает в растения в виде аниона MoO_4^{2-} и концентрируется в молодых растущих органах. В листе он сосредоточен, в основном, в хлоропластах.



Рисунок 15 – Хлорозы, некрозы, засыхание, деформация листьев ячменя, яблони, розы и хризантемы при дефиците меди (W. Bergmann, 1983)

Важнейшей стороной физиологической роли молибдена является его участие в азотном обмене. Вместе с железом молибден входит в состав активного центра нитрогеназы – фермента, участвующего в фиксации азота атмосферы клубеньковыми бактериями бобовых растений. Он входит также в активный центр нитратредуктазы, катализирующей восстановление нитратов до нитритов, где, изменяя валентность ($\text{Mo}^{5+} \leftrightarrow \text{Mo}^{6+} + \bar{e}$), служит переносчиком электронов. В белковом обмене он активизирует реакции аминирования и переаминирования, а также работу фосфатазы.

Молибден участвует в нуклеиновом, фосфорном обмене, в биосинтезе витаминов и хлорофилла.

Недостаток молибдена приводит к нарушению азотного и водного обмена, поэтому признаки дефицита N и Mo – похожи. Но в отличие от дефицита азота, первые признаки которого проявляются на нижних старых листьях, дефицит молибдена проявляется на верхних, молодых листьях, так как он не способен к реутилизации. Дефицит молибдена чаще проявляется на кислых почвах.

Наиболее требовательны к обеспеченности этим элементом бобовые, рапс, овощные культуры (капуста, корнеплоды, салат). Индикаторным растением на питание молибденом является цветная капуста. При дефиците молибдена у нее видоизменяется листовая пластинка («хлыст»), не развиваются соцветия, или становятся рыхлыми и буреют (рис. 16).

Цинк поступает в растения в виде ионов Zn^{2+} . В окислительно-восстановительных процессах он не участвует, так как не меняет валентность, но входит в состав более 30 ферментов.

Цинк участвует в фотосинтезе, входя в состав фермента карбоангидразы. Углекислый газ, поступая из внешней среды в клетку и растворяясь в воде, образует угольную кислоту (H_2CO_3). Роль карбоангидразы состоит в том, что она катализирует высвобождение углекислого газа, необходимого для фотосинтеза ($\text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$).



Рисунок 16 – Дефицит молибдена на цветной капусте
(W. Bergmann, 1983)

Цинк необходим для функционирования таких ферментов как альдолаза, гексокиназа, триозофосфатдегидрогеназа, катализирующих реакции гликолиза в процессе дыхания. Он играет большую роль в образовании фитогормона ауксина, так как активирует образование триптофана – предшественника ауксина, влияет на синтез белка, путем участия в репликации ДНК и транскрипции. Действие цинка на ростовые процессы связано с усилением синтеза ауксина – фитогормона, стимулирующего рост клеток путем растяжения.

В условиях недостатка цинка у растений нарушается фосфорный обмен, результатом которого является повышение в несколько раз содержания неорганических форм фосфорных соединений, при этом снижается содержание нуклеотидов, липидов и нуклеиновых кислот. Дефицит цинка приводит к изменению и углеводного обмена: накапливаются моносахариды и уменьшается содержание сахарозы и крахмала, повышается содержание органических кислот, свободных аминокислот и амидов. В этих условиях снижается также скорость растяжения клеток, нарушается дифференциация тканей, что приводит к уменьшению размеров листьев, изменению их формы. Междоузлия укорачиваются, листорасположение приобретает розеточную

форму, появляется хлороз листьев, затормаживается рост побегов, на их верхних концах образуются розетки мелких, ивообразных листьев (рис. 17).



Рисунок 17 – Розеточность листьев побегов красной смородины и ивообразные листья побегов яблони при дефиците цинка (W. Bergmann, 1983)

Кобальт в растениях находится в ионной (Co^{2+} и Co^{3+}) форме и в форме комплексных соединений. Много кобальта требуют бобовые растения, в которых он сосредоточен в клубеньках. Это связано с особой ролью кобальта в процессах азотфиксации. Он входит в состав витамина B_{12} (цианкобаламин), который синтезируется клубеньковыми бактериями бобовых растений. Он положительно влияет на синтез белка, ауксина, аскорбиновой кислоты, улучшает функционирование фотосинтетического аппарата.

Хлор поступает в растения в виде иона Cl^- . Он необходим для нормального функционирования хлоропластов, принимает участие в фотолизе воды световой фазы фотосинтеза, влияет на азотный обмен. Концентрируясь в вакуолях, хлориды могут регулировать осмотические процессы в клетках. Известно влияние хлоридов на работу H^+ -АТФаз тонопласта, участие в делении клетки.

Никель поступает в растения в виде Ni^{2+} . У высших растений никель входит в состав фермента уреазы, который катализирует реакцию разложения мочевины. Никель активирует нитратредуктазу, пептидазы, оказывает стабилизирующее влияние на структуру рибосом.

Селен в настоящее время вызывает повышенный интерес у исследователей. Физиологическая роль этого элемента пока еще до конца не выявлена, но имеются данные о его защитной роли при действии на растения неблагоприятных условий внешней среды.

Вопросы для самоконтроля

1. Как живые клетки отличаются по элементному составу от земной коры?
2. Какие химические элементы относятся к необходимым для растений макро- и микроэлементам? В каких количествах они содержатся в растениях?
3. Назовите органогенные, зольные элементы и содержание золы в растениях.
4. В чем заключается роль азота в жизни растений? Каковы источники азота для растений?
5. В чем заключается роль фосфора в жизни растений?
6. Охарактеризуйте роль калия в жизни растений.
7. Какую роль играет сера в жизни растений?
8. Каковы функции кальция и магния в клетке?
9. Охарактеризуйте роль микроэлементов в жизни растений.

1.2 ПОСТУПЛЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В КОРНЕВУЮ СИСТЕМУ И ТРАНСПОРТ В РАСТЕНИИ

1.2.1 КОРЕНЬ КАК ОРГАН ПОГЛОЩЕНИЯ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

Корни составляют значительную часть общей массы растений. Например, в Нечерноземной зоне масса корней у овса составляет примерно 28%, а у красного клевера – 69% массы всего растения. В сухих степях на долю корней приходится еще большая часть массы растения – у злаковых трав до 90%. у верблюжьей колючки, растущей в пустынно-степных районах, корни весят в тысячи раз больше надземной части и углубляются до 30 м (Н.А. Качинский)

По размерам, массе, глубине распространения в почве и морфологическим признакам корневые системы сильно различаются у растений разных семейств. Схематически массу корней и их деятельную поверхность можно изобразить в виде двух конусов, один из которых обращен основанием книзу (поверхность корневой системы), другой – кверху (масса корневой системы). Максимум поверхности корней достигает в период цветения растения.

Общая поверхность корней обычно превышает поверхность надземных органов в 130–170 раз. Вместе с тем, между развитием корневых систем и надземных органов имеется тесная связь: искусственное уменьшение количества и площади листьев на растении (*дефолиация*) приводит к уменьшению площади поглощающей поверхности корней и в целом мощности корневой системы. Аналогичные изменения корневой системы наблюдаются и у мутантных сортов сельскохозяйственных культур с закрепленной на генетическом уровне уменьшенной площадью листовой поверхности, например, у афильных (лишенных обычных листочков) форм гороха. Взаимосвязь между развитием надземных органов и корневой системы у растений регулируется на трофическом уровне посредством взаимного

питания: корни снабжают надземные органы водой и элементами минерального питания, а получают от них продукты фотосинтеза.

На характер развития корневых систем сельскохозяйственных культур большое влияние оказывает влага и содержание питательных веществ в почве. Корневые системы однолетних хлебных злаков проникают в почву на глубину 1,5–2 м, иногда до 3 м, у люцерны – до 5 м, а у верблюжьей колючки, которая произрастает в пустынно-степных районах, корни углубляются до 20 м. Оптимальной влажностью почвы для роста и развития большинства сельскохозяйственных культур является влажность 60–70% ПВ. Как избыток, так и недостаток влаги приводит к ухудшению развития корней (табл. 1).

Таблица 1 – Показатели мощности корневой системы гороха при различных условиях увлажнения почвы (Н.Е. Новикова, 2002).

Влажность почвы, % ПВ	Сухая масса корней, мг/раст.	Объем корней, см ³ /раст.	Общая поглощающая поверхность, м ² /раст.	Деятельная поглощающая поверхность, м ² /раст.
70	505	10,0	8,7	3,5
90	464	8,2	7,8	3,0
35	341	5,6	5,7	2,4

Развитие корневой системы определяет способность растений усваивать минеральные соединения и формировать урожай. Поэтому необходимым условием получения высокого урожая сельскохозяйственных культур является хорошее развитие корневой системы (табл. 2).

Таблица 2– Влияние удобрений на мощность корневой системы и урожайность кукурузы (А.В. Петербургский, 1981)

Вариант	Масса корней, т/га	Глубина распространения корней, см	Урожайность зерна, ц/га
Без удобрений	1,02	83	12,5
НПК	1,52	247	46,9

Небольшие количества минеральных солей могут поглощать и листья растений (на этом основаны некорневые подкормки), но главным

специализированным органом поглощения питательных веществ из почвы является корень. В ходе эволюции он приобрел особое морфологическое и анатомическое строение для наиболее эффективного выполнения этой функции. В строении корня выделяют несколько функционально различных зон: *зона деления* клеток (меристематическая) с корневым чехликом, *зона растяжения* клеток, *зона дифференцировки* клеток (корневых волосков), *зона проведения* (рис.18).



Рисунок 18 – Зоны корня, их строение и функции

Основными зонами поглощения питательных веществ является зона растяжения клеток и зона корневых волосков. На 1 мм² поверхности корня образуется от 200 до 400 корневых волосков, которые в сотни раз увеличивают его поверхность поглотительную способность. Выше зоны корневых волосков расположена зона проведения, которая в поглощении веществ почти не участвует, так как покрыта слоем пробковой ткани. Эта зона корня имеет полностью сформировавшуюся проводящую систему, по которой вода и минеральные вещества поступают в надземную часть растения.

Длина растущей части корня обычно не превышает 1 см. Она состоит из меристемы (1,5–2 мм от кончика корня) и зоны растяжения (2–7 мм).

Поступление ионов в корень происходит через ризодерму (эпиблему) – первичную покровную ткань, которая состоит из одного слоя клеток и покрывает не опробковевшие части корня. Часть клеток ризодермы образует корневые волоски – выросты клеток, которые имеют большую вакуоль и тонкие клеточные оболочки. Благодаря этому они хорошо проницаемы для воды и питательных веществ. Этому способствует также тесное соприкосновение корневых волосков с коллоидными частицами почвы, что не только улучшает поглощение веществ, но и обеспечивает растворяющее воздействие корневых выделений (углекислоты, некоторых органических кислот) на почву.

Корневые волоски растут со скоростью 0,1 мм/ч путем растяжения оболочек клеток ризодермы. Длина корневых волосков варьирует у различных культур от 80 до 1500 мкм. Продолжительность существования каждого волоска невелика. Считают, что она не превышает одних суток. На том участке корня, где корневые волоски отмирают, корень покрывается пробковой тканью, и поступление воды и солей через него прекращается.

Для роста корневых волосков очень важна хорошая обеспеченность кальцием. При его недостатке происходит ослизнение и гибель тонких корневых окончаний растений.

Хорошее развитие корневых систем является необходимым условием для полноценного снабжения растений питательными веществами. Чем меньше подвижность и концентрация иона в почве, тем большее значение приобретает распространение корней в объеме почвы. В процессе эволюции у растений выработалась способность расти на почвах с крайне неравномерным распределением питательных веществ, так как их корни способны распространяться в том направлении, где концентрация недостающего элемента выше. Это свойство получило название *хемотропизма*. Именно поэтому

основная масса корней полевых культур сосредоточена в верхнем плодородном слое почвы.

Д.Н. Прянишниковым установлено, что недостаток питательных веществ в почве приводит к созданию относительно большей массы корней, чем хорошая обеспеченность всеми факторами роста. Так, при выращивании культур в условиях гидропоники, где используются оптимальные по составу и концентрации питательные растворы, корневая система растений развита слабее, чем в полевых условиях, а листья – сильнее.

В засушливых условиях происходит усиленное образование корневых волосков и тонких корневых окончаний. Благодаря этому повышается способность растений извлекать воду и питательные вещества из бóльшего объема почвы. Например, у растений гороха общая поглощающая поверхность корней в условиях почвенной засухи (при влажности почвы 35% ПВ) формировалась на 50% меньшей, чем при оптимальной влажности почвы (70% ПВ). Однако благодаря усиленному образованию корневых волосков в условиях засухи поглощающая поверхность 1 см² корня оказалась на 20% большей, чем при оптимальном увлажнении (Новикова Н.Е., 2002).

Скорость роста корня у однолетних полевых культур может достигать 1 см в сутки. Поэтому зона активного поглощения питательных веществ корневой системой перемещается в почве довольно быстро. Отмечено, что внесение фосфорных удобрений способствует углублению корневых систем, а внесение азотных, калийных удобрений, а также магнийсодержащих – усиливает ветвление корней.

Знание закономерностей формирования и функционирования корневых систем имеет значение для решения вопросов агротехники, направленных на улучшение использования растениями питательных веществ из почвы и удобрений. К ним относятся глубина пахотного слоя, глубина заделки семян и удобрений, виды, формы, дозы удобрений и сроки их внесения, мелиорация земель и др. Кроме того, от развития корневой системы зависит устойчивость

растений к почвенной и воздушной засухе, к переувлажнению почвы и другим неблагоприятным факторам внешней среды.

1.2.2 МЕХАНИЗМЫ ПОСТУПЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В КОРЕНЬ

В почве доступные растениям питательные вещества находятся в ионной форме в почвенном растворе и в обменно-поглощенном почвенным поглощающим комплексом (ППК) состоянии, при этом большая часть веществ адсорбирована частицами почвы. ППК – это система почвенных коллоидов минеральной и органической природы, способных обменно поглощать ионы из окружающего их пространства и удерживать их в поглощенном состоянии. Большая часть почвенных коллоидов заряжена отрицательно и адсорбирует на своей поверхности катионы. Некоторая часть коллоидов (гидроксиды алюминия и железа) в кислых почвах имеют положительный заряд, и на них могут находиться в поглощенном (адсорбированном) состоянии анионы. Катионы и анионы, находящиеся в поглощенном состоянии на частицах ППК, являются важными источниками питания растений. Как и ионы почвенного раствора, они могут обмениваться на катионы и анионы, адсорбированные на поверхности клеток корня (H^+ и HCO_3^- , OH^- , анионы органических кислот), которые получили название «обменного фонда ионов клетки (корня)» и формируются, например, в следующем процессе:

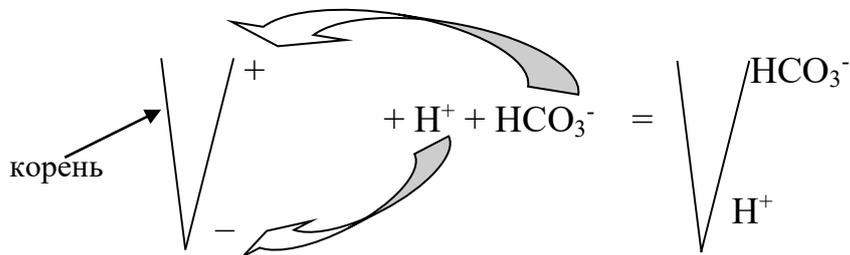
– корни растений дышат с выделением CO_2 , который, соединяясь с водой образует H_2CO_3 ;

– угольная кислота диссоциирует (хотя и в слабой степени) на H^+ и HCO_3^- :



– белки, входящие в состав мембран клетки, являются амфотерными соединениями. Они содержат в молекуле кислые и основные группы и могут диссоциировать как кислоты или как основания. В зависимости от числа и природы основных и кислых групп в определенных условиях среды (рН среды)

разные белки могут нести положительный или отрицательный заряд. В этом случае по закону физики к отрицательно заряженному участку мембраны клетки корня будет притягиваться H^+ , а к положительно заряженному – HCO_3^- :



В обмен на эти ионы идет поглощение питательных элементов в виде катионов или анионов: ионы H^+ , адсорбированные клеточными оболочками, обмениваются в эквивалентных количествах на катионы, а HCO_3^- и анионы органических кислот – на анионы окружающей среды.

Контактный обмен ионов клеточной оболочки ризодермы с ионами, находящимися на поверхности ППК, может осуществляться без перехода ионов в почвенный раствор. Тесный контакт происходит благодаря выделению слизи корневыми волосками и отсутствию кутикулы у ризодермы, так что зона поглощения корней и частицы почвы образуют как бы единую коллоидную систему.

Адсорбированные клеточной оболочкой ризодермы молекулы и ионы поступают в протопласт клетки, преодолевая мембрану (плазмалемму) несколькими способами. Различают *пассивный транспорт* (по электрохимическому градиенту – от большей концентрации или большего заряда к меньшей концентрации или заряду) и *активный транспорт* против электрохимического градиента с использованием энергии АТФ.

При пассивном поступлении веществ в клетку основным механизмом переноса через мембраны является диффузия. Этот процесс зависит от растворимости веществ в липидной фазе мембраны. Вещества, которые растворяются в липидах, легче проходят через мембраны. Однако большинство

важных для питания веществ нерастворимо в липидах и преодолевает плазмалемму с помощью мембранных транспортных белков.

Существует два типа мембранных белков: *белки-переносчики* и *каналообразующие белки*.

Белок-переносчик имеет специальный участок для связывания транспортируемого вещества (рис. 19). Он соединяется с переносимым веществом по принципу комплементарности (от лат. *complementum* – дополнение), благодаря пространственному соответствию поверхностей взаимодействующих частей. Можно представить, что переносимое вещество подходит к белку-переносчику, как ключ к замку.

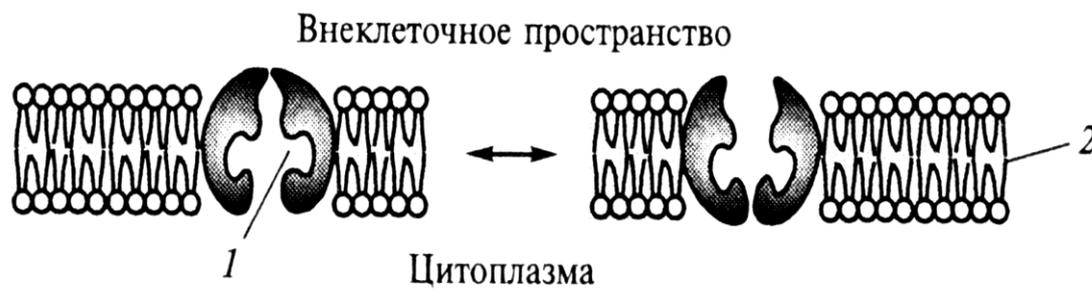


Рисунок 19 – Схема мембранного белка-переносчика: 1– участок связывания; 2– липидный бислой (В.В. Кузнецов, Г.А. Дмитриева, 2005)

Вначале подход к связывающему участку открыт с наружной стороны мембраны. Молекула или ион подходит к этому участку и связывается с ним. Затем конформация белка-переносчика изменяется, и подход к связывающему участку открывается с другой стороны мембраны. Молекула или ион переносимого вещества отделяется от связывающего участка переносчика и оказывается на другой стороне мембраны.

Белки-переносчики транспортируют вещества через мембраны как по электрохимическому градиенту, так и против него. Транспорт по электрохимическому градиенту с помощью переносчиков называется *облегченной диффузией*.

Роль белков-переносчиков могут выполнять специальные белки, которые для конформационных изменений используют энергию АТФ. Необходимая

энергия высвобождается при гидролизе АТФ с помощью фермента аденозинтрифосфатазы (АТФазы). Такие белки получили название *ионных насосов* (рис. 20).

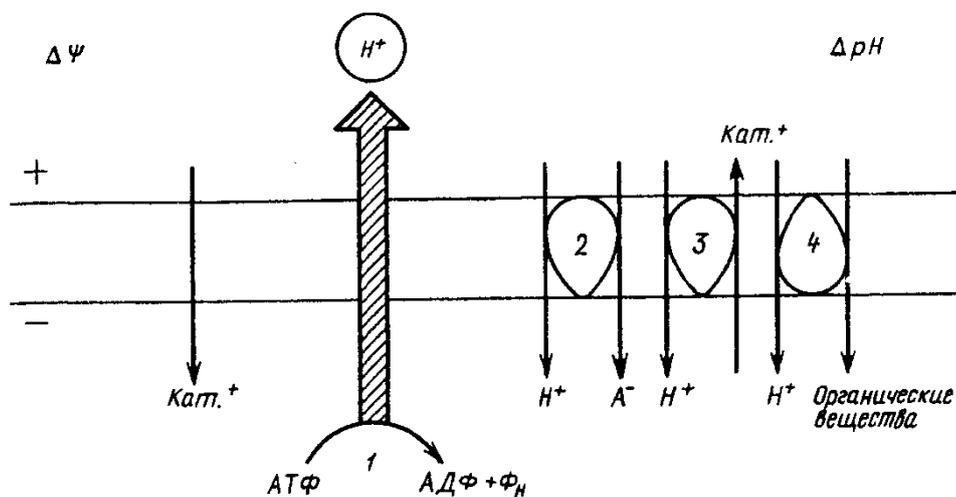


Рисунок 20 – Схема протонного насоса в транспорте веществ через мембрану
(Н.Н. Третьяков и др., 2000)

Переносчиками могут быть и сами АТФазы. Они располагаются в мембране и катализируют гидролиз АТФ до АДФ и H_3PO_4 . Высвобождаемая энергия используется для транспорта протонов через мембрану, в результате чего на ней возникает разность электрохимических потенциалов, обеспечивающая движение в клетку катионов. Концентрационный градиент протонов обуславливает их транспорт обратно в клетку с помощью переносчиков. Одновременно с ним в том же направлении могут транспортироваться анионы, сахара, аминокислоты (*симпорт*), а в противоположном направлении – катионы (*антипорт*). Перенос протонов через мембраны с использованием энергии АТФ называется *протонным насосом* (*протонной помпой* или H^+ - АТФазой).

Каналообразующие белки пронизывают двойной слой липидов мембран. Наружная поверхность этих белков – гидрофобна, а внутренняя – гидрофильна. Переносимое вещество проходит через мембрану по гидрофильной части белковой молекулы, не контактируя с гидрофобной липидной фазой мембраны. Почти все каналы служат для транспорта ионов, поэтому их называют *ионными*

каналами. В настоящее время известно около 50 видов таких каналов. Наиболее распространенными являются каналы, по которым через мембраны транспортируются ионы калия и кальция. Этот транспорт происходит пассивным путем по электрохимическому градиенту.

Ионные каналы в различных условиях могут открываться и закрываться, регулируя тем самым поступление ионов в клетку.

Роль переносчиков могут выполнять и небольшие небелковые гидрофобные молекулы, хорошо растворимые в липидах. Их называют *ионофорами*. Одни из них подвижны и способны, захватив молекулы или ионы, переносить их через мембраны по электрохимическому градиенту. Примером подвижного ионофора может служить антибиотик валиномицин. Другие ионофоры располагаются внутри бислоя липидов и образуют канал с внутренней гидрофильной поверхностью. Это позволяет ионам водорода, калия и натрия проходить через мембрану пассивно по их электрохимическому градиенту. Примером каналообразующего ионофора служит антибиотик грамицидин (рис. 21).

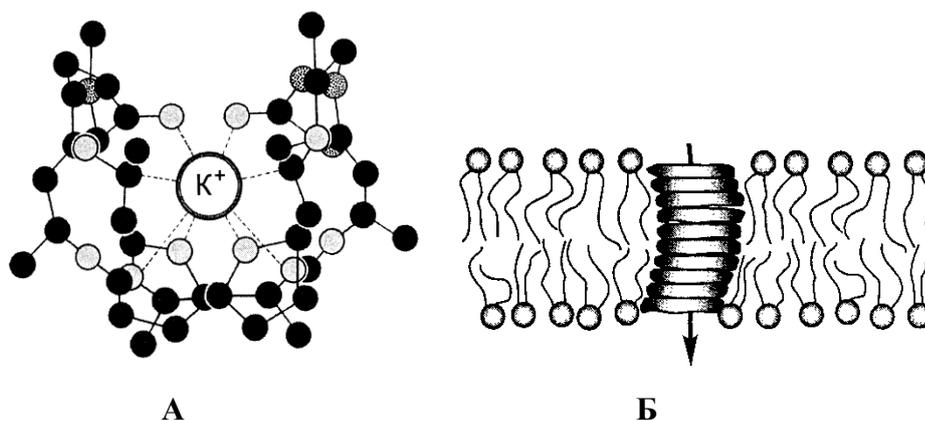


Рисунок 21 – Переносчики ионов через мембрану (ионофоры): А – комплекс валиномицина с ионом калия; Б - грамицидиновый канал ионной проводимости

На свойстве антибиотиков образовывать в мембранах каналы ионной проводимости основано их терапевтическое действие в медицине и ветеринарии. Под действием антибиотиков происходит сильное повышение проницаемости мембран клеток микроорганизмов – возбудителей болезней.

Это вызывает быструю утечку калия и других жизненно важных ионов из микробной клетки и последующую ее гибель.

Интенсивное поступление в клетку ионов должно было бы привести к выравниванию концентраций в клетке и внешнем растворе и прекращению дальнейшего их поступления. Но этого не происходит, так как ионы, такие как, нитрат, сульфат, фосфат быстро включаются в клетке в процессы обмена, переходя в состав органических соединений. Это стимулирует переход в клетку новых порций ионов: от скорости включения ионов в обмен веществ зависит интенсивность их поступления из внешней среды. Так как транспортные белки синтезируются в самой клетке, то корневое поглощение питательных веществ находится под метаболическим контролем.

Поступление ионов в клетки корня может протекать как пассивно по электрохимическому градиенту, так и активно против электрохимического градиента с затратой метаболической энергии. Так как обычно концентрация элементов питания в почвенном растворе ниже, чем в клетках корня, то поступление ионов в растения происходит преимущественно с затратой энергии АТФ.

1.2.3 РАДИАЛЬНЫЙ И ВОСХОДЯЩИЙ ТРАНСПОРТ ЭЛЕМЕНТОВ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

Ионы, поглощенные клетками ризодермы, перемещаются через паренхиму коры к проводящим сосудам центрального цилиндра (*радиальный, или поперечный транспорт*) (рис. 22). Это передвижение может проходить по *апопласту* – системе клеточных стенок и межклеточных промежутков и по *симпласту* – совокупности протопластов клеток, соединенных в единую систему плазмодесмами.

Анатомически апопласт (*свободное пространство*) представляет собой полости между фибриллами клеточных оболочек и межклеточные промежутки.

сопровождается их включением в обмен веществ. Здесь минеральные формы азота, фосфора, серы переходят в органические соединения и к сосудам направляются, кроме ионов, продукты их первичного превращения (аминокислоты, амиды и др.).

При передвижении по протопластам коры происходит регуляция потока ионов. В случае поступления в симпласт избыточных количеств ионов, часть их устраняется из транспортного потока путем депонирования (запасания) в вакуолях. В других условиях, когда потребность в ионах увеличивается, а во внешнем растворе их недостаточно, они выходят из вакуолей и вовлекаются в транспортный поток. Поглощение ионов вакуолями также снижает концентрацию их в симпласте и обеспечивает создание градиента концентрации, необходимого для поглощения новых порций ионов и транспорта их по симпласту.

По апопласту ионы могут преодолеть весь путь от корневых волосков до эндодермы – внутреннего слоя коры, прилегающего к центральному цилиндру. Здесь апопластный путь прерывается. Это обусловлено тем, что в эндодерме радиальные части клеточной оболочки имеют водонепроницаемый пробковый слой поясков Каспари. Поэтому вода и растворенные в ней вещества изменяют здесь свой путь с апопластного на симпластный. Таким образом, осуществляется почти полный метаболический контроль поступления веществ в сосуды ксилемы. И лишь незначительная часть веществ может избежать этого контроля и преодолеть эндодерму через пропускные клетки, которые лишены поясков Каспари или пояски недоразвиты.

Далее питательные вещества преодолевают клетки паренхимы центрального цилиндра корня и поступают в мертвые сосуды ксилемы, по которым перемещаются вверх по растению.

Установлено также, что между проводящими элементами ксилемы и флоэмы происходит постоянный обмен, поэтому часть веществ может передвигаться вверх по растению и по ситовидным трубкам флоэмы. Это повышает надежность функционирования транспортной системы. Соотношение

между этими потоками ионов зависит от внешних условий, но путь по сосудам в восходящем транспорте веществ считается основным.

Механизмом ксилемного транспорта является *массовый ток* веществ, растворенных в воде. Двигателями тока, обеспечивающими передвижение питательных веществ из корня к надземным органам растения, служат транспирация и корневое давление. Однако направление и использование питательных веществ органами растений зависит не только от интенсивности транспирации и условий, влияющих на этот процесс, но и от потребностей отдельных органов растения в питательных веществах. Опытами с использованием радиоактивного изотопа фосфора ^{32}P установлено, что вещества восходящего тока более интенсивно поступают из сосудов в органы растений, в которых активно протекают обменные процессы: ^{32}P обнаруживался в большем количестве в точках роста, молодых листочках и формирующихся плодах.

В ксилеме, как и в корне, происходит регуляция транспорта веществ. Клеточные оболочки ксилемы имеют участки с отрицательным зарядом. Они способны адсорбировать передвигающиеся по ксилеме катионы, снижая их подвижность. Между ксилемой и флоэмой располагаются живые клетки образовательной ткани (камбия), в которых активно протекают процессы обмена веществ. Вещества из сосудов ксилемы частично поступают в клетки камбия и в нем могут временно резервироваться. Таким образом, камбий регулирует объем и состав веществ, передвигающихся по ксилеме.

Элементы минерального питания могут транспортироваться не только вверх (*восходящий ток*), но и вниз (*нисходящий ток*). При этом восходящий ток идет по сосудам и ситовидным трубкам, а нисходящий – только по ситовидным трубкам. Наличие нисходящего тока демонстрируется опытами по питанию растений путем опрыскивания листьев слабыми растворами солей, что приводит к существенному увеличению содержания ионов солей в различных органах, в том числе в корнях. Явление нисходящего тока в растениях лежит в основе некорневых подкормок сельскохозяйственных культур.

1.2.4 ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ И ВНУТРЕННИХ УСЛОВИЙ НА ПОСТУПЛЕНИЕ ВЕЩЕСТВ В КОРНЕВУЮ СИСТЕМУ

Поступление питательных элементов в растения варьирует в зависимости от концентрации и доступности их в субстрате, кислотности среды, влажности, освещения, температуры, аэрации в зоне корней, возраста растения, видовых особенностей и интенсивности обмена веществ.

Основным источником энергии для активного поглощения ионов корневой системой и дальнейшего транспорта является АТФ, которая образуется в ходе дыхания и окислительного фосфорилирования. Поэтому в условиях, угнетающих процесс дыхания, уменьшается и поступление питательных веществ в растения.

Содержание кислорода в воздухе ниже 3% приводит к ослаблению поступления ионов в корневую систему. При содержании кислорода выше этого уровня в широком интервале значений (21–3%) поглощение веществ, как и интенсивность дыхания, остаются стабильными.

Свет оказывает прямое и косвенное влияние на поглощение питательных веществ. В темноте поглощение замедляется. Причем растения очень быстро реагируют на условия освещения. Так, поглощение фосфора ускоряется уже через 2–3 минуты после включения освещения.

Косвенное влияние света на поглощение заключается в том, что в ходе фотосинтеза образуются углеводы, которые являются дыхательными субстратами. При длительном выдерживании растений в темноте их запас истощается и поглощение солей замедляется вплоть до прекращения. В этом случае может наблюдаться даже выделение веществ через корни. Кроме того, усиление фотосинтеза стимулирует рост, а это, в свою очередь, повышает потребность растений в питательных элементах.

Почвенные условия оказывают большое влияние на питание растений. Общий запас питательных веществ в почве, содержание их в легкоусвояемых

формах, переход неусвояемых соединений в усвояемые и наоборот определяют условия питания растений и потребность их в удобрении.

Наиболее подвижной и активной частью почвы, в которой непрерывно совершаются химические процессы и из которого растения усваивают питательные вещества, является почвенный раствор. В нем присутствуют катионы и анионы солей, растворимые органические вещества, газы (аммиак, углекислый газ и др.). Обычно концентрация растворимых солей в почве составляет около 0,05%. Избыток их (более 0,2%) оказывает вредное влияние на растения.

Состав и концентрация почвенного раствора могут заметно изменяться под влиянием различных условий. Так, при внесении удобрений, снижении влажности почвы, усилении минерализации органического вещества его концентрация повышается; вымывание растворимых соединений из почвы, переход их в нерастворимые формы, использование питательных веществ растениями, наоборот, приводят к ее снижению. На состав и концентрацию солей в почвенном растворе оказывает влияние также их взаимодействие с твердой фазой почвы.

Важнейшей частью почвы, которая во многом определяет ее плодородие, является органическое вещество. Оно представлено негумифицированными органическими (еще не разложившимися) остатками растений и животных и гумусовыми (перегнойными) веществами. Содержание гумуса зависит от типа почвы: в дерново-подзолистой оно составляет 2–4%, в серой лесной – 4–6%, в черноземе выщелоченном – 7–8%, черноземе мощном – 10–12%.

В гумусовых веществах содержится до 90% азота и серы и до 30–40% фосфора от общего содержания их в почве. Под действием микроорганизмов происходит минерализация гумусовых веществ и переход закрепленных в них питательных элементов в усвояемые для растений формы. Суммарная масса всех микроорганизмов в почве соответствует примерно 6–7 т/га. Таким образом, органическое вещество почвы является важнейшим резервом питательных веществ для растений.

Растворимость питательных солей и доступность их растениям зависит от кислотности почвы. Большая часть макроэлементов наиболее доступны растениям при реакции почвы, близкой к нейтральной.

В кислых почвах высокую подвижность имеют алюминий, железо, марганец, бор, медь, цинк. В щелочных почвах эти элементы образуют труднорастворимые соединения, и могут проявляться признаки голодания растений. Высокая подвижность алюминия и железа в кислых дерново-подзолистых почвах ухудшает питание растений фосфором из-за перехода его в состав труднорастворимых фосфатов алюминия и железа. Алюминий отрицательно влияет на корни растений: они становятся короче, грубеют, темнеют и ослизняются, число корневых волосков уменьшается.

Повышенная кислотность почвенного раствора ухудшает рост и ветвление корней, увеличивает проницаемость мембран, вызывает повреждение переносчиков ионов, задержку поступления катионов в корневую систему.

Различные виды растений предъявляют разные требования к кислотности почвенной среды. Так, для люпина оптимальное значение pH составляет 4–5; для картофеля – 5–6; овса, ржи, льна – 5–6; гороха, пшеницы, клевера – 6–7; свеклы – 7; люцерны – 7–8.

Радикальным способом улучшения питательного режима кислых почв является внесение известковых удобрений, которые не только снижают избыточную кислотность почвы, но и обогащают ее кальцием и магнием, способствуют повышению доступности растениям многих элементов минерального питания, усиливают микробиологическую активность почвы. Однако при этом подвижность большинства микроэлементов (кроме молибдена) снижается, что вызывает необходимость внесения микроудобрений.

На поглощение ионов корневой системой влияет наличие в питательном субстрате других ионов. В присутствии аниона катионы той же соли поступают быстрее. Фосфор и калий усиливают поглощение азота, а азот – фосфора и калия. Цинк способствует поглощению железа, но сам плохо усваивается растениями при высоком содержании в почве фосфора.

Содержание воды в почве влияет на рост корней и их поглотительную способность. При недостатке влаги корни в ее поисках усиливают рост в более глубокие увлажненные слои почвы (*гидротропизм*). При этом значительное фотосинтетические продукты расходуются на рост корней в ущерб надземным органам. При избыточном увлажнении и особенно затоплении создается недостаток кислорода. Это отрицательно влияет на дыхание корней и, как следствие, на поглощение солей. Кроме того, корни в условиях затопления плохо ветвятся, образуют мало корневых волосков.

Корневые выделения. В ходе дыхания корни выделяют CO_2 , который растворяется в водной пленке, окружающей корневые волоски, подкисляя среду. Это повышает растворимость и доступность растениям фосфатов и карбонатов.

Кроме диоксида углерода корни выделяют в почву различные органические кислоты, аминокислоты, сахара, витамины, физиологически активные вещества и другие соединения, причем состав корневых выделений зависит от вида возделываемых растений. Определено, что четырехнедельные растения кукурузы выделяют около 7% продуктов фотосинтеза, поступающих в корень из надземных органов. Эти соединения создают в ризосфере специфическую микрофлору, которая участвует в минерализации органических соединений почвы и усвоении азота из воздуха.

Следует отметить, что с корневыми выделениями связано явление почвоутомления, которое сильно выражено при бессменном выращивании одной и той же культуры в течение длительного времени на постоянном участке. В этом случае в почве накапливаются не только сами выделения в повреждающих концентрациях, но и болезнетворные организмы, размножающиеся благодаря им. Это должно учитываться при планировании чередования культур в севообороте.

Взаимодействие ионов. Установлено, что физиологическое влияние смеси нескольких солей на живую клетку отличается от действия каждой соли, взятой в отдельности. Например, в опыте с зеленой водорослью вошерия было

установлено, что в растворе NaCl она оставалась живой только 15 минут, в смеси солей NaCl и KCl – 3 часа, а в смеси солей NaCl, KCl и CaCl₂, как и на дистиллированной воде, – в течение 40 суток.

Соли оказывают аналогичное влияние и на высшие растения. На чистых растворах NaCl или CaCl₂ у проростков пшеницы развиваются только очень короткие корешки или не развиваются вовсе; в растворе, состоящем из обеих солей, наблюдается лучшее развитие, которое дополнительно улучшается при добавлении KCl. Эти результаты показывают, что растворы чистых солей оказывают токсическое действие на клетку. В смеси солей ядовитое действие каждой отдельно взятой соли уменьшается или исчезает вовсе.

Взаимодействие ионов при поступлении в клетку, при котором физиологический эффект воздействия смеси солей слабее, чем действие отдельно взятой соли, называется *антагонизмом ионов* (от греч. *anti* – против; *agonizomai* – борюсь).

Антагонизм ионов проявляется как между ионами одной валентности (например, Na⁺ и K⁺, Na⁺ и NH₄⁺), так и между ионами с разной валентностью (K⁺ и Ca²⁺, Na⁺ и Mg²⁺). Чем выше валентность, тем сильнее проявляется антагонистическое действие иона. Особенно сильно антагонизм проявляется между K⁺ и Ca²⁺. Так, для устранения ядовитого действия чистой соли KCl надо добавить 30% NaCl и всего 5% CaCl₂.

В антагонистических отношениях находятся и анионы с общими зарядами: SO₄²⁻ и SeO₄²⁻, а также Cl⁻, Br⁻, F⁻, I⁻, но антагонизм анионов выражен слабее.

В проявлении антагонизма ионов имеет значение противоположное влияние разных ионов на коллоидно-химические свойства цитоплазмы, в частности на гидратацию коллоидов. Известно, что двухвалентные катионы (Ca²⁺, Mg²⁺) снижают, а одновалентные (Na⁺, K⁺) повышают гидрофильность цитоплазмы. Причем, как чрезмерное набухание, так и сильная потеря воды нарушает процессы метаболизма.

Явление антагонизма ионов может объясняться и конкуренцией за переносчики на плазмалемме клетки. Известно, что она наблюдается при одновременной адсорбции различных ионов клеткой из внешнего раствора. Поступление в клетку одного иона приводит к вытеснению другого.

Имеется также мнение, что это явление связано с конкуренцией ионов за активные центры ферментов. Так, активность некоторых ферментов дыхания ингибируется катионами Na^+ . Это действие Na^+ снимается добавлением K^+ .

Следует признать, что вопрос о причинах антагонистического действия ионов до конца пока еще не изучен.

Растворы, которые характеризуются определенным соотношением ионов, благоприятным для роста и развития организмов, называются *уравновешенными*. В таких растворах антагонизм ионов проявляется в наибольшей степени. К естественным уравновешенным растворам относится, например, морская вода, плазма крови. При этом в морской воде сумма одновалентных катионов превышает сумму двухвалентных в 8–10 раз.

Уравновешенные растворы обеспечивают нормальный рост и развитие растений. Поэтому это свойство питательных растворов является обязательным условием успешности культивирования растений на искусственных питательных средах.

Кроме антагонистического действия различных ионов при поступлении в клетку наблюдаются также *синергизм* и *аддитивность* в действии компонентов смеси солей.

Синергизм (от греч. *synergeia* – сотрудничество, содружество; *synergos* – совместно действующий) – это взаимное усиление физиологического действия на растения солей, входящих в состав раствора. В результате физиологический эффект смеси солей превышает сумму эффектов каждой отдельно взятой соли. Например, хлопчатник дал прибавку урожая 3 ц/га при внесении только азотных удобрений, 2 ц/га – только фосфорных удобрений и 8 ц/га – при внесении азотных и фосфорных удобрений. Таким образом, эффективность синергизма солей выразилась прибавкой урожая 3 ц/га. Как уже было сказано,

фосфор и калий усиливают поглощение корнями азота, а азот – фосфора и калия.

Аддитивность (от лат. *additivus* – прибавленный) – это действие смеси солей в растворе, которое равно сумме действия каждой отдельной соли. Например, осмотический потенциал раствора равен сумме осмотических потенциалов каждого растворенного в нем вещества. Применение удобрений на засоленных почвах может дать отрицательный эффект, так как в результате аддитивности повышается концентрация почвенного раствора, что сопровождается ухудшением поступления воды в растения.

1.2.5 РИТМИЧНОСТЬ ПОСТУПЛЕНИЯ ИОНОВ В КОРНЕВУЮ СИСТЕМУ

Растениям свойственна *ритмичность* в поглощении питательных ионов корневой системой. Она отражает всеобщность явлений периодичности и ритмичности хода физиологических процессов у растений во времени. Это выражается в смене максимумов и минимумов поступления питательных веществ в растения с периодом около суток (*циркадные ритмы*) и с короткими периодами в течение суток (*пульсация*). В дневные часы поглощение идет более интенсивно, чем ночью, и это соответствует динамике других физиологических процессов, в частности ходу фотосинтеза в течение суток и притоку в корни фотосинтетических продуктов, необходимых для включения в обмен веществ поглощенных питательных элементов.

При частом контроле наблюдается ритмичность поглощения катионов и анионов с периодом в несколько часов и даже с периодом около часа. Установлена ритмичность в поглощении корнями фосфатов, сульфатов, нитратов, калия, кальция. Через 2–4 часа усиленного поглощения иона наступает период слабого поглощения и даже выделения его во внешний раствор. В исследованиях И.И. Гунара и др. (1959 г.), максимум поглощения калия часто совпадал с выделением кальция во внешний раствор и, наоборот, усиленное поглощение кальция сопровождалось выделением калия (рис. 23).

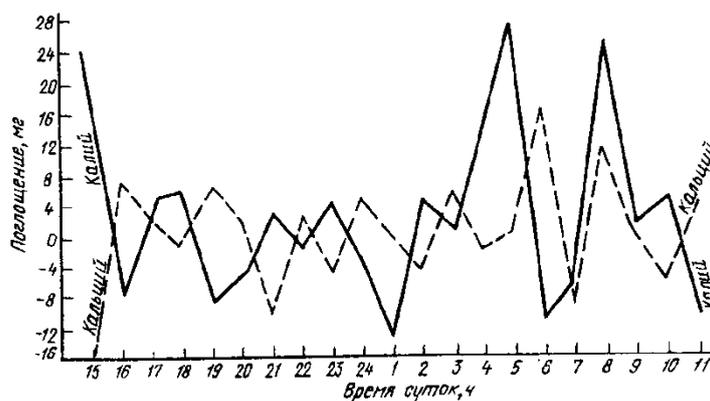


Рисунок 23 – Суточный ритм поглощения калия и кальция томатом
(И.И. Гунар, Е.Е. Крастина, А.Е. Петров-Спиридонов, 1959)

В течение суток выявлено 4–6 периодов, каждый из которых имеет один максимум и один минимум. Эти ритмы не связаны со световым режимом или другими внешними факторами, так как данные факторы не изменяются с такой периодичностью. Ритмы имеют эндогенный характер. Считается, что они отражают фазы возбуждения и торможения, сменяющие друг друга в жизнедеятельности растений.

Различают и более крупные ритмические периоды в течение вегетации растений, которые связаны с неодинаковой потребностью их в элементах питания в отдельные периоды онтогенеза.

Вопросы для самоконтроля

1. Какую роль в поглощении веществ играют корневые волоски, первичная кора, проводящие ткани?
2. Почему быстро растущий и хорошо ветвящийся корень поглощает больше веществ?
3. Какими практическими мероприятиями можно улучшить развитие корневой системы?
4. Опишите процесс поглощения ионов корнем. Какие механизмы участвуют в этом процессе?
5. Охарактеризуйте значение диффузии и адсорбции в поглощении веществ растениями.
6. В чем состоят различия между активным и пассивным транспортом веществ?
7. Что такое протонный насос? Какое он имеет значение в транспорте веществ через мембраны?
8. Каким образом нерастворимые в липидах вещества преодолевают мембраны?
9. Чем отличается пути ионов по апопласту и по симпласту?
10. Почему недостаток кислорода и пониженная температура почвы приводят к снижению скорости поглощения питательных элементов корнем?

11. Как влияет рН почвенного раствора на доступность растениям элементов минерального питания?
12. Какую роль в питании растений играют корневые выделения?
13. Что такое антагонизм ионов? Какие растворы называют уравновешенными?
14. В чем заключается ритмичность поглощения ионов, и с чем она связана?
15. С помощью каких практических мероприятий можно улучшить поглощение питательных веществ корневой системой?

1.3 ПОСТУПЛЕНИЕ АЗОТА В РАСТЕНИЯ

Основными источниками азота для растений являются органические и минеральные удобрения, биологический азот, ассимилируемый клубеньковыми бактериями и свободноживущими микроорганизмами из атмосферы, а также азот, поступающий с атмосферными осадками и накопленный семенами.

1.3.1 УСВОЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОГО АЗОТА

Атмосфера на 75,6% состоит из молекулярного азота (N_2), однако высшие растения не способны усваивать его из воздуха. Он становится доступным им лишь после связывания химическим или биологическим путем.

Только небольшое количество азота химически связывается в атмосфере в форме аммиака и отчасти нитратов в результате фотохимических процессов и электрических разрядов. Этот азот поступает в почву с атмосферными осадками (3–5 кг/га в год). Основная масса азота в почве накапливается в результате *биологической фиксации*, которая осуществляется свободно живущими в почве и симбиотическими азотфиксирующими микроорганизмами.

К *свободноживущим азотфиксаторам* относятся микроорганизмы: *Clostridium pasterianum*, *Azotobacter chroococcum*, *Azotobacter agile*. На затопляемых рисовых полях эффективными азотфиксаторами являются *цианобактерии*, в частности *Tolypothrix tenius*, жизнедеятельность которых обеспечивает увеличение урожайности риса в среднем на 20%. Свободноживущие азотфиксаторы усваивают в среднем в год 5–15 кг/га азота.

Значительно больший вклад в биологическую фиксацию азота вносят *клубеньковые бактерии*, которые живут в симбиозе с бобовыми растениями (бактерии рода *Rhizobium*), а также *актиномицеты* рода *Frankia*.

Исторической вехой в развитии мирового земледелия явилось введение в севооборот клевера (конец XVIII века). Благодаря его культивированию

урожайность зерновых в Англии, Бельгии и Голландии была повышена с 7 до 15–16 ц/га, что долгое время не находило научного объяснения, пока Ж. Буссенго, Г. Гельригель, М.С. Воронин в середине XIX в. не установили роль клубеньковых бактерий в питании растений азотом.

В зависимости от вида бобовых растений и внешних условий клубеньковые бактерии усваивают в среднем за вегетационный период от 50 до 400 кг азота на 1 га. Люцерна за счет симбиотической азотфиксации может накопить за вегетационный период до 500–600 кг/га азота, клевер – 250–300, люпин – 150, кормовые бобы, горох, фасоль – 50–60 кг/га. Поэтому использование пожнивно-корневых остатков и самих растений в качестве сидератов (запахивание растений в почву в начале периода образования плодов) значительно обогащает почву азотом.

Роща молодой ольхи в симбиозе с актиномицетами за 7 лет усваивает до 700 кг/га азота, обогащая лесную почву. Благодаря способности фиксировать азот атмосферы ольха может заселять территории с очень низким содержанием азота в почве (например, каменистые ландшафты, после отступления ледников), и участвовать в создании плодородного слоя. К числу древесных растений, способных симбиотически усваивать азот атмосферы, относятся также облепиха, лох, восковница.

Конечным продуктом фиксации азота атмосферы является аммиак:



В процессе восстановления азота до аммиака участвует мультиферментный комплекс *нитрогеназа*. Он состоит из двух компонентов: высокомолекулярного Mo,Fe-белка (содержит молибден и железо) и низкомолекулярного Fe-белка. Процесс идет с затратой энергии, поэтому усвоение азота атмосферы связано с процессами дыхания и фотосинтеза.

При производстве азотных удобрений химическое связывание молекулярного азота воздуха с образованием аммиака осуществляется в присутствии катализаторов при температуре выше 500°C и давлении около

35МПа. Это производство является дорогостоящим и небезопасным для окружающей природы. Биологическая фиксация азота бактериями при участии ферментов протекает при обычной температуре и давлении и не приводит к загрязнению окружающей среды. Поэтому использование бобовых культур в севооборотах является необходимым условием повышения плодородия почвы и играет природоохранную роль.

На активность азотфиксации большое влияние оказывают внешние условия. Она значительно снижается в засушливые годы, так как для нормальной жизнедеятельности клубеньковых бактерий требуется достаточное увлажнение почвы. Азотфиксаторы хорошо развиваются в почвах с нейтральной или слабокислой реакцией почвы ($pH_{КСЛ} 5,6-7,0$), поэтому известкование кислых почв способствует их размножению и улучшению деятельности.

На образование клубеньков и азотфиксирующую способность клубеньковых бактерий оказывает большое влияние и обеспеченность почвы подвижными формами фосфора, калия, органическим веществом, а также микроэлементами молибденом и бором. Внесение фосфорных удобрений стимулирует рост корневой системы, особенно корневых волосков, через которые проникают бактерии. Хорошее питание молибденом способствует поддержанию высокой активности нитрогеназы.

Внесение повышенных доз азотных удобрений и высокое содержание минеральных форм азота в почве угнетает образование клубеньков на корнях и понижает их азотфиксирующую активность. Значение бобовой культуры как собирателя азота в этом случае снижается, а себестоимость получаемой сельскохозяйственной продукции увеличивается.

Клубеньки на корнях бобовых культур начинают формироваться через 7–10 дней после всходов. В течение первого месяца роста растений азотфиксация идет слабо и достигает максимума только к фазе бутонизации. Поэтому на первом этапе роста зернобобовых культур до начала деятельности клубеньковых бактерий эффективны небольшие (стартовые) дозы азотных

удобрений (30–45 кг/га азота). В период созревания семян азотфиксирующая активность клубеньковых бактерий падает. В это время наблюдается лизис (растворение) клеток бактерий.

Открытие азотфиксаторов привело к созданию бактериальных удобрений (*нитрагин*, *ризоторфин*, *азотобактерин*). Эти удобрения содержат свободноживущие или клубеньковые бактерии. Их использование позволяет улучшить обеспеченность растений азотом, и при этом они экологически более безопасны, чем минеральные удобрения.

Наиболее эффективным бактериальным удобрением является *ризоторфин*. Это культура клубеньковых бактерий, размноженных в стерильном торфе с частицами 0,25 мм (мелкие частицы способствуют лучшей прилипаемости к семенам бобовых культур). В 1 грамме ризоторфина должно содержаться не менее 2,5 млрд клубеньковых бактерий, в противном случае он не пригоден для применения. Он выпускается отдельно для люпина, гороха, вики, кормовых бобов, фасоли, сераделлы, клевера, люцерны и применяется только под те культуры, для которых приготовлен.

Обработка семян гороха перед посевом ризоторфином повышает урожайность на 1,6–4,0 ц/га, а содержание белка – на 2,5 %. Эффективность нитрагинизации увеличивается при совмещении ее с обработкой семян солями молибдена, входящего в состав нитрогеназы.

На почвах Белоруссии прибавка урожая зерна бобовых культур (люпин, горох, кормовые бобы) от обработки семян ризоторфином составила 1,5–3,0 ц/га, сена клевера – 2,0–5,0, люцерны – 5,0–12,0 ц/га. Чем ниже активность природной популяции почвенных азотфиксаторов, тем выше эффективность ризоторфина. Наибольший эффект отмечен на почвах легкого гранулометрического состава.

Разработана промышленная технология получения гранулированного ризоторфина, эффективность которого на крупносемянных бобовых культурах на 10–12% выше, чем порошковидного. Проходит испытание сапропелевая

форма препарата (*сапронелевый нитрагин – сапронит*). Нередко его эффективность превосходит ризоторфин.

На основе азотобактера методами генной инженерии в Белоруссии разработан бактериальный препарат *ризофил*, который может использоваться на культуре томата и огурца, повышая их урожайность на 25% и заменяя 20% азота минеральных удобрений биологически фиксированным азотом.

Интересным направлением использования азотфиксирующих бактерий является применение их на небобовых культурах. Это так называемые ассоциативные азотфиксаторы. По обобщенным данным в зависимости от почвенно-климатических условий и вида растений размеры ассоциативной азотфиксации составляют 3–50 кг/га азота в год в странах с умеренным климатом и до 200–600 кг/га – с тропическим. Среди таких азотфиксаторов наиболее интересна *азоспирилла*, позволяющая в благоприятных условиях обеспечивать до 40–50% потребности растений в азоте. Так, обработка семян ячменя азоспириллой по эффективности равноценна 30–40 кг/га минерального азота. Эти микроорганизмы размещаются в наружных тканях корней.

На основе азоспириллы и торфа разработан азотобактерин, который в 1 г препарата содержит 10^9 - 10^{11} бактерий. Его эффективность на небобовых культурах можно продемонстрировать на следующем примере: на дерново-подзолистых почвах прибавка урожая зерна ячменя от его применения колебалась от 6 до 9 ц/га, сена многолетних злаковых трав – от 9 до 12 ц/га.

Таким образом, использование бактериальных удобрений позволяет повысить азотфиксирующую способность бобовых культур и существенно сократить расход минерального азота под бобовые и небобовые культуры.

Новые перспективы для улучшения использования азота атмосферы открывают достижения генной инженерии. Установлено, что ферменты, участвующие в фиксации азота атмосферы, являются продуктами *nif*-генов. В настоящее время разработаны методы увеличения дозы *nif*-генов у клубеньковых бактерий рода *Rhizobium*. Имеются разработки по переносу этих

генов в другие организмы, созданию злаковых растений, способных к азотфиксации.

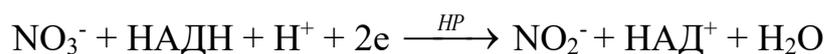
1.3.2 УСВОЕНИЕ НИТРАТНОГО И АММОНИЙНОГО АЗОТА

Работами Д.Н. Прянишникова установлено, что при одновременном присутствии в растворе азота в аммонийной и нитратной формах аммоний быстрее, чем нитрат, поглощается растениями и участвует в процессах синтеза. Преимущество аммонийного питания состоит в том, что аммоний стоит ближе к конечным продуктам синтеза азотсодержащих органических веществ в растениях. Для образования аминокислот и амидов требуется восстановленная форма азота. Нитраты, прежде чем вступить в реакции синтеза аминокислот, должны быть восстановлены в тканях растений до аммонийного азота.

Процесс ферментативного восстановления нитратов до аммония происходит в результате двух последовательных реакций:



Первая реакция катализируется *нитратредуктазой* (НР) и протекает в цитозоле клеток корня и листа:



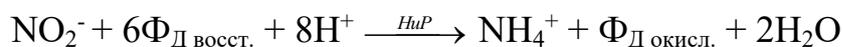
Нитратредуктаза высших растений содержит в своем составе ФАД, железопорфириновую группу (гем) и молибденсодержащий комплекс – молибденовый кофактор. НАДН (донор электронов в этой реакции) образуется в ходе дыхания.

В результате первой реакции образуется нитрит, который является очень активным и токсичным ионом, но он не накапливается в клетках, так как восстанавливается до аммония с участием фермента *нитритредуктазы* (НиР):

Нитритредуктаза имеет две простетические группы: гем и железосерный кластер 4Fe4S. По активности нитритредуктаза превосходит нитратредуктазу. В

листьях она находится в хлоропластах и использует в качестве донора электронов ферредоксин ($\Phi_{\text{Д}}$), восстановленный в световой фазе фотосинтеза.

Восстановление нитратов до аммония протекает по схеме:



У большинства растений (злаковые, кукуруза, фасоль, сорго, овощные культуры) восстановление нитратов до аммония протекает и в корнях, и в листьях. Ряд растений восстанавливают нитраты в листьях – сахарная свекла, хлопчатник, дурнишник, а такие растения, как горох, люпин, многие древесные растения восстанавливают их в корнях и транспортируют азот в надземные органы в органической форме.

Восстановление нитратов тесно связано с процессами дыхания и фотосинтеза. Дыхание является основным поставщиком НАДН, как источника электронов для восстановления нитратов. Для нормального дыхания, в свою очередь, необходим достаточный запас углеводов, который образуется в ходе фотосинтеза. Опытами установлено, что при выращивании растений в темноте нитраты не восстанавливаются, а накапливаются во всех тканях. Это имеет практическое значение при выращивании растений в условиях защищенного грунта: во избежание накопления нитратов в овощной продукции необходимо в теплицах поддерживать освещенность, обеспечивающую высокую интенсивность фотосинтеза.

При дефиците железа и молибдена также задерживается восстановление нитратов и увеличивается их накопление в тканях, поскольку в этих условиях снижается активность нитратредуктазы. Особое значение для усиления процессов восстановления нитратов принадлежит молибдену. Некоторые почвы содержат мало доступных растениям соединений этого элемента, и возникает необходимость применения молибденовых удобрений.

Связь процесса восстановления нитратов с содержанием углеводов необходимо учитывать при проведении поздних подкормок растений азотными удобрениями. Если для подкормки сахарной свеклы в период накопления

сахаров использовать азот в нитратной форме, то сахаристость корнеплодов может снизиться, так как часть сахаров используется как источник энергии для восстановления нитратов. Поздние подкормки нитратным азотом снижают также содержание крахмала в клубнях картофеля и батата, поэтому для подкормки этих культур предпочтителен азот в аммонийной форме.

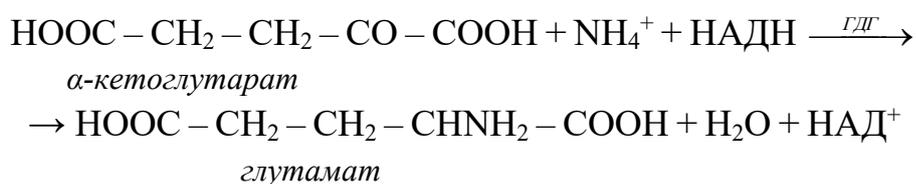
Аммонийные и нитратные формы азотных удобрений могут оказывать и прямое влияние на качество урожая. Это хорошо демонстрируется данными А.В. Владимирова, полученными при изучении влияния форм азота на химический состав листьев махорки (табл. 3). Одним из важных показателей качества этой технической культуры является накопление в листьях лимонной кислоты. Как видно, на ее накопление положительное влияние оказывает нитратный азот.

Таблица 3 – Влияние форм азотных удобрений на качество махорки

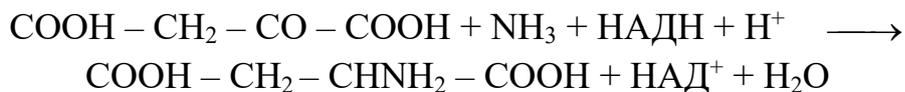
Форма азота	Общая кислотность, мг-экв/100 г воздушно-сухого вещества	Лимонная кислота, % к воздушно-сухому веществу листа
Аммоний	141,2	0,55
Нитрат	270,9	3,24

Аммоний, который поступает в корневую систему при аммонийном питании или образуется в результате восстановления нитратов, фиксации молекулярного азота, вовлекается в процессы образования аминокислот и амидов – предшественников белковых веществ.

В первичном связывании аммония участвуют кетокислоты, образуемые в ходе дыхания: α -кетоглутаровая, щавелевоуксусная, пировиноградная и некоторые другие. В результате реакции *восстановительного аминирования* оксиглутаровой кислоты, катализируемой ферментом *глутаматдегидрогеназой (ГДГ)*, образуется глутаминовая кислота (глутамат):



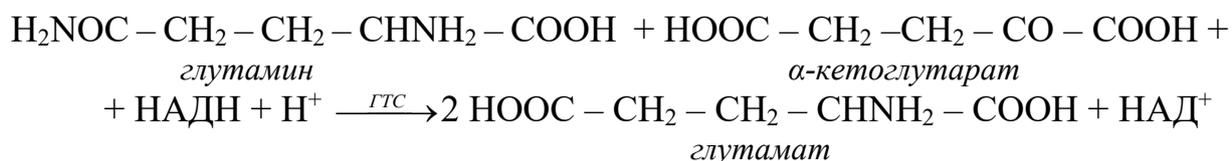
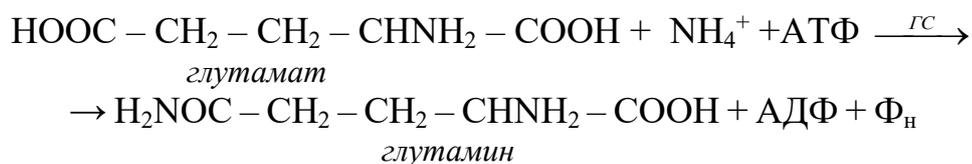
Аминирование щавелевоуксусной кислоты, катализируемое аспартатдегидрогеназой, приводит к образованию аспарагиновой кислоты:



Аналогично образуется аланин из пировиноградной кислоты при участии фермента аланиндегидрогеназы.

Однако образование этих первичных аминокислот не является основным путем в связывании аммония в растениях. Использование современных высокочувствительных методов показало, что ферменты, участвующие в реакциях аминирования кетокислот, недостаточно активны, чтобы эти реакции стали определяющими в ассимиляции аммония растениями. Благодаря работам Р. Ли и Б. Мифлина (1974) был открыт основной путь первичной ассимиляции аммония. Этот путь включает две последовательные реакции, катализируемые ферментами *глутаминсинтетазой (ГС)* и *глутаматсинтетазой (ГТС)*.

В первой реакции с участием фермента ГС происходит присоединение аммония к глутаминовой кислоте (глутамату) с образованием глутамина. Во второй реакции с участием фермента ГТС происходит перенос амидной группы глутамина на α -кетоглутаровую кислоту и образование второй молекулы глутаминовой кислоты:



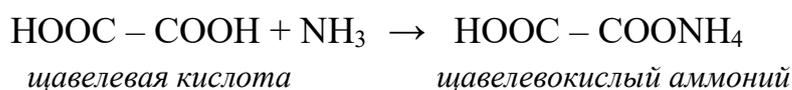
В настоящее время ГС/ГТС – путь считается главным в ассимиляции аммиака. ГДГ слабо функционирует при небольших концентрациях аммония и

активируется в неблагоприятных условиях, при угнетении работы ГС/ГТС – системы и накоплении повышенных количеств аммония.

Основными продуктами первичной ассимиляции аммония являются глутаминовая кислота и глутамин. Остальные аминокислоты образуются в результате реакций переаминирования и взаимопревращения аминокислот.

Процесс образования аминокислот и амидов в растениях имеет еще один важный аспект. Он заключается в том, что аммиак ядовит для клетки и накопление его может привести к отравлению организма. Путем быстрого вовлечения аммиака в азотный обмен достигается его обезвреживание в тканях растения. Главную роль в этом процессе играет образование глутаминовой и аспарагиновой кислот и их амидов – глутамина и аспарагина. При этом считают, что образование глутамина преобладает в растущих органах, тогда как образование аспарагина преобладает при распаде белков и высвобождении аммиака в семенах при их прорастании. Действительно, наличие аспарагина легко наблюдать под микроскопом по образованию его многочисленных кристаллов в экстракте из этиолированных проростков высокобелковых культур (например, люпина).

В некоторых растениях с кислым клеточным соком (хвощ, осоки, щавель) аммиак обезвреживается преимущественно путем образования аммонийных солей соответствующих органических кислот:



У таких растений содержание аммонийного азота превосходит содержание амидного азота в десятки раз.

Амиды имеют большое значение не только как обезвреживатели аммиака, но и являются транспортной формой азотистых соединений, легко передвигающихся по проводящей системе растения.

Растения способны синтезировать все аминокислоты для образования белка. Этим они отличаются от животных организмов, которые должны

получать, по крайней мере, 8 аминокислот в готовом виде с растительной пищей. Наиболее интенсивно биосинтез белка протекает в молодых растущих органах и образовательных тканях.

Наряду с синтезом белковых веществ у растений непрерывно происходит и их распад, причем он идет с большой скоростью. Время, в течение которого в растении распадается 50% белка, составляет от 1 часа до 5 суток.

Крупные белковые молекулы не могут транспортироваться по проводящей системе растений. Поэтому отток азота из стареющих органов в молодые растущие органы возможен только после того, как белок будет разложен при участии ферментов до транспортных форм азотистых веществ (аминокислот и амидов). Аналогично, при прорастании семян запасные белки распадаются, и высвобождающиеся аминокислоты и амиды перемещаются в точки роста и используются на новообразование цитоплазмы. Благодаря этому на первых этапах роста молодой проросток питается азотом за счет запасов семени и менее подвержен влиянию внешних факторов среды. В активно функционирующих клетках также постоянно происходит обновление белков. За 48 часов заново синтезируется до 60% белков.

Таким образом, превращение азотистых веществ в растении имеет циклический характер и представляет собой сменяющие друг друга процессы синтеза и распада. Цикличность превращений азотистых веществ в растении была раскрыта в работах Д.Н. Прянишникова (рис. 24).

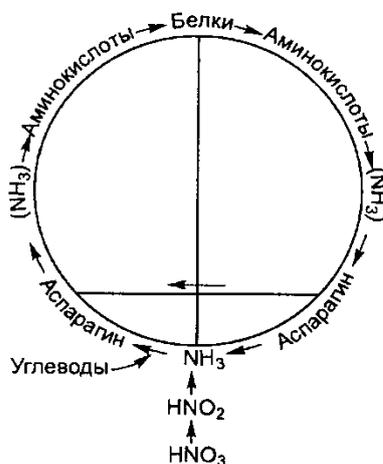


Рисунок 24 – Схема превращения азотистых веществ (по Д.Н. Прянишникову)

Правая половина круга отражает процессы распада белковых веществ, а левая – процессы синтеза. Белок как исходное соединение при распаде и конечный продукт при синтезе объединяет обе половины круга. В правой половине схемы белки распадаются до аминокислот и далее до аммиака. Аммиак является последним продуктом распада азотистых веществ. Он же оказывается и первым азотистым соединением, которое, соединяясь с углеводами (кетокислотами), дает начало новым органическим азотистым соединениям. Д.Н. Прянишниковым было сделано заключение, что *«... аммиак есть альфа и омега в обмене азотистых веществ у растений, т.е. с него начинается синтез, им кончается распад, и снова он вовлекается в круговорот, если есть налицо безазотистый материал».*

При выборе форм азотных удобрений для питания сельскохозяйственных растений необходимо учитывать физиологические особенности их ассимиляции и действия на растения:

– аммонийная и нитратная формы азота *физиологически равноценны* для растения в условиях, оптимальных для поглощения каждого из них, но в зависимости от реальных условий (реакции среды, сопутствующих катионов и анионов, обеспеченности зольными элементами питания и углеводами) растения могут лучше усваивать аммонийную или нитратную форму азота;

– недостаток углеводов и образующихся из них органических кислот, необходимых для связывания аммонийного азота, может привести к накоплению аммиака в тканях растения и *«аммиачному отравлению»*. Поэтому для внесения в рядки при посеве культур с мелкими семенами и небольшим запасом углеводов (например, сахарной свеклы) предпочтительны нитратные формы азотных удобрений;

– накопление нитратов не опасно для растительного организма. Однако содержание их выше допустимых значений в кормовых культурах, плодах и овощах может привести к отравлению животных и человека. Особенно большое значение при использовании нитратных форм азотных удобрений имеет достаточное обеспечение растений фосфором и молибденом. При

недостатке молибдена задерживается восстановление нитратов до аммония и происходит накопление их в тканях растения. Для предотвращения накопления нитратов эффективно дробное и локальное применение азотных удобрений под овощные и кормовые культуры в оптимальных дозах;

– при внесении различных форм азотных удобрений необходимо учитывать кислотность почвы. В слабокислой почве лучше поглощаются нитраты, а в нейтральной – преимущество имеет аммонийная форма азота. Для лучшего усвоения аммонийного азота большое значение имеет достаточное обеспечение растений кальцием;

– аммонийные и нитратные формы азотных удобрений оказывают разное влияние на качество урожая. При внесении аммонийного азота в растениях больше накапливаются восстановленные соединения азота, а при внесении нитратного – окисленные.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите источники азота для питания растений. В каких формах азот поступает в растения?
2. Какое значение в азотном питании растений имеют свободно живущие и симбиотические бактерии?
3. Какими практическими приемами можно усилить развитие клубеньков на корнях бобовых растений и усилить их азотфиксирующую активность?
4. Какие количества азота из атмосферы могут усваивать различные виды бобовых растений в симбиозе с клубеньковыми бактериями?
5. В каких удобрениях содержатся живые азотфиксирующие бактерии?
6. В чем различия в метаболизме аммонийного и нитратного азота, поступившего в корневую систему?
7. Как происходит восстановление нитратов в растениях? Какие ферменты участвуют в этом процессе? Что является конечным продуктом восстановления нитрата?
8. Каким образом восстановление нитратов в растениях связано с дыханием и фотосинтезом?
9. Какое значение в метаболизме растений имеют глутамин и аспарагин?
10. Опишите цикл превращения азотистых веществ в растениях по Д.Н. Прянишникову.
11. Какие особенности ассимиляции и действия на растения аммонийного и нитратного азота необходимо учитывать при выборе форм азотных удобрений?

1.4 МИКОРИЗА И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ В ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ

Микоризой называется тесное сожительство (симбиоз) корней высших растений и почвенных грибов. Способностью к симбиозу с грибами обладают многие древесные и травянистые растения.

Различают микоризы *эктотрофные, эндотрофные и эктоэндотрофные*. Эктотрофная микориза наиболее типична для древесных растений. Она представляет собой плотный чехол из гиф гриба на поверхности корневых окончаний и отдельные гифы проникают в межклетники коры. Корневые волоски при этом исчезают, а их роль выполняют гифы гриба. Эктотрофную микоризу образуют шляпочные грибы – белый, подберезовик, подосиновик, масленок, мухомор и др.

Ряд древесных растений для нормального развития требуют наличия микоризы на корнях. К ним относятся главные лесообразующие древесные породы: дуб, ель, сосна, лиственница, пихта, бук, граб и др. При разведении лесов в некоторых случаях рекомендуется внесение мицелия грибов в почву. Это особенно важно для южных и полупустынных районов, где образование микоризы идет слабо. Одним из способов заражения является добавление почвы, взятой из лесных насаждений. Эктотрофную микоризу можно культивировать в чистой культуре и полученный мицелий добавлять в почву. Создание благоприятных условий для грибов-симбионтов улучшает продуктивность леса. Следует отметить, что внесение слишком больших доз минеральных и органических удобрений в лесных питомниках может подавлять образование микоризы.

Эндотрофная микориза распространена в основном среди травянистых растений. Она обнаружена у пшеницы, ржи, овса, проса, ячменя, льна, хлопчатника, кукурузы, табака, чая, гороха, фасоли и других культур. Она характеризуется проникновением гиф гриба внутрь клеток корня, где они и развиваются. Корневые волоски на поглощающих корнях при этом сохраняются.

Эндотрофная микориза хорошо изучена у орхидных. Установлено, что их семена не прорастают без наличия соответствующих грибов. Только после выяснения роли микоризы стало возможным разведение орхидей в оранжереях.

Эктоэндотрофная микориза объединяет признаки двух предыдущих видов микоризы (т.е. имеется грибной чехол, гифы между клетками и внутри клеток коровой паренхимы, при этом корневые волоски отсутствуют).

Мицелий гриба на поверхности корня имеет большую всасывающую поверхность и значительно лучше снабжает растение водой и элементами питания, чем корни без микоризы. При помощи своих ферментов микоризные грибы способны разлагать гумус почвы, органические вещества опада листьев и тем самым улучшать азотное питание растений. Гриб улучшает питание растений фосфором, калием, микроэлементами; обогащает клетки растения-хозяина гормонами (ауксинами и цитокинами). Установлено, что микоризные корешки реже повреждаются различными инфекционными заболеваниями. Улучшается выживаемость, рост и развитие растений. Определено, что под влиянием микоризы усиление роста у пшеницы составляет 220%, кукурузы – 122%, лука – 3155%, туи – 962% (П. Рейви с соавт., 1990).

В свою очередь гриб получает от высшего растения продукты фотосинтеза – углеводы, а также специфические вещества корня, например, витамины.

1.5 ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ И РЕУТИЛИЗАЦИЯ ВЕЩЕСТВ В РАСТЕНИЯХ

В растительном организме непрерывно протекают процессы синтеза и распада органических веществ. В период образования и интенсивного роста органов и тканей в них преобладает синтез, а в период старения – распад органических веществ.

Освобождающиеся при распаде сложных веществ элементы минерального питания могут передвигаться в другие растущие органы и ткани

и снова использоваться в них для синтеза различных органических веществ. Повторное использование питательных элементов называется *реутилизацией*.

В нее могут вовлекаться многие элементы. Наиболее подвижен калий. Это объясняется тем, что он находится в растении в ионной форме. В течение суток он может совершить несколько круговоротов в растении по ксилеме и флоэме. Хорошо реутилизуются азот и фосфор. Такие элементы как кальций, железо, бор, медь, цинк, марганец, напротив, практически не способны к реутилизации или имеют очень слабую к ней способность. Магний и сера занимают промежуточное положение.

Способность питательных элементов к реутилизации или ее отсутствие объясняет появление внешних симптомов голодания растений при их дефиците. В случае недостатка в питательной среде хорошо реутилизированных азота, фосфора, калия, магния, эти элементы передвигаются из более старых органов к меристемам и молодым органам для поддержания их роста. При этом старые листья обедняются и первыми проявляют внешние признаки голодания.

Элементы, которые не способны к повторному использованию, накапливаются в закончивших рост органах. Поэтому, если из почвы не поступает достаточного их количества, то все вновь образующиеся листья будут страдать от недостатка, хотя в старых листьях и побегах их может быть вполне достаточно. В этих условиях молодые листья первыми ощущают недостаток данных элементов, и у них раньше появляются внешние признаки голодания.

Многие микроэлементы не способны к реутилизации, поэтому положительный результат может дать некорневая подкормка соответствующими микроудобрениями: борными, марганцевыми, цинковыми. Эти элементы характеризуются *акропетальным* градиентом распределения в растении, то есть, их концентрация убывает снизу вверх. Для элементов, способных к реутилизации, характерен *базипетальный* градиент распределения, то есть концентрация их увеличивается снизу вверх – от старых листьев к молодым. Эти особенности необходимо учитывать при отборе проб

листьев для диагностики потребности растений в тех или иных элементах минерального питания.

У сельскохозяйственных растений реутилизация протекает наиболее активно после цветения, когда формируются плоды, и они становятся главными акцепторами фотосинтетических продуктов и элементов минерального питания. В этом проявляется экономичность в использовании питательных веществ растениями. У яровой пшеницы реутилизация может обеспечить накопление 80–100% потребности зерна в азоте и 50–55 – в фосфоре (В.А. Кумаков, 1981). У люпина узколистного 29–40% азота, необходимого для формирования семян, реутилизуется из вегетативных органов, при этом из листьев поступает около 75%, стеблей – 20, корней – 5–10% всего повторно используемого азота (Г.С. Посыпанов, 1974).

У многолетних древесных растений перед осенним листопадом происходит отток ионов солей из листьев в ветви, стволы, корни, а весной – возвращение их в молодые растущие листья.

У интенсивных высокоурожайных сортов полевых культур вклад реутилизации в формирование урожая выше, чем у старых низкоурожайных сортов. Это связано с большой акцепторной емкостью плодов и большей долей зерна в массе всего растения. Поэтому для современных сортов особенно важно достаточное и сбалансированное питание в первой половине вегетации растений (до цветения) для накопления в вегетативных органах запаса питательных элементов, которые впоследствии повторно используются образующимися семенами.

Реутилизация имеет большое значение в формировании урожая в условиях, неблагоприятных для поглотительной деятельности корневой системы. Так, по данным ВНИИЗБК, в засушливые годы у гороха до 100% азота и 85% фосфора в зерне может накапливаться благодаря аккумуляции этих элементов в вегетативных органах до цветения и последующей их реутилизации. В условиях хорошей обеспеченности влагой, создающей благоприятные условия для поглощения веществ корневой системой,

реутилизация определяет накопление только около 50% азота и фосфора, а остальная часть этих элементов поступает в растения и аккумулируется в семенах за счет поглощения из почвы в период налива семян.

Реутилизация играет положительную роль и до цветения в случае наступления неблагоприятных условий для роста. Она способствует сохранению меристем и их функциональной деятельности, а значит – выживанию растений в условиях стресса.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое реутилизация веществ? Какое значение имеет этот процесс в формировании урожая?
2. При каких условиях внешней среды повышается роль реутилизации в формировании урожая?
3. Назовите питательные элементы способные к реутилизации в растении и со слабо выраженной к ней способностью.
4. Как связана способность питательных элементов к реутилизации с проявлением внешних признаков их недостатка в растении?

1.6 ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ СОЛЕЙ

Катионы и анионы одной и той же соли поступают в корневую систему с разной скоростью в зависимости от потребности в них растений. В результате этого неиспользованные растениями ионы, остающиеся в питательном растворе, вызывают его подкисление или подщелачивание. Поэтому внесение удобрений, нейтральных вне сферы деятельности корневой системы, может приводить к изменению рН среды при выращивании растений. В зависимости от преимущественного поглощения растениями из солей катионов или анионов их делят на физиологически кислые и физиологически щелочные соли.

Физиологическую кислотность проявляют соли (удобрения), из которых растения в большем количестве поглощают катионы, чем анионы.

Физиологическую щелочность проявляют соли (удобрения), из которых растения поглощают преимущественно анионы.

Как правило, из азотсодержащих солей в большей мере растениями поглощается азот, поэтому аммонийные соли являются физиологически кислыми, а селитры (кроме аммиачной селитры) – физиологически щелочными.

Кальциевая, натриевая и калийная селитры являются физиологически щелочными удобрениями. При их внесении растения преимущественно используют анион NO_3^- , а остающиеся неиспользованными катионы натрия, кальция или калия образуют основания и сдвигают реакцию почвенного раствора в щелочную сторону (рис. 25).

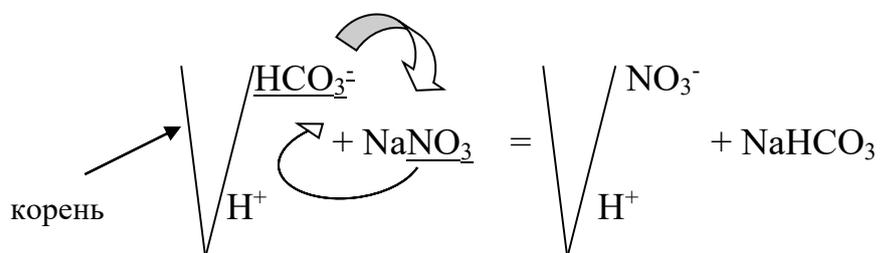


Рисунок 25 – Схема избирательного поглощения корнем анионов соли

Благодаря нейтрализующему действию, нитратные удобрения весьма эффективны на кислых дерново-подзолистых почвах.

Физиологическая щелочность калийной селитры, кроме того, обусловлена гораздо более высоким содержанием в ней калия, чем азота, при этом в почве остаются неиспользованными ионы калия и почвенный раствор подщелачивается.

Аналогичное рассуждение в отношении кальциевой селитры и культур с высоким выносом кальция показывает, что вынос кальция практически всеми сельскохозяйственными культурами меньше выноса азота (в 1,3 – 11 раз), а в кальциевой селитре содержание кальция преобладает над азотом в 2,8 – 3 раза. Это свидетельствует о несостоятельности предположения, что в зоне деятельности корневых систем таких растений кальциевая селитра будет проявлять физиологическую кислотность.

Наиболее типичными представителями физиологически кислых солей являются аммонийные азотные удобрения – сульфат аммония и хлористый аммоний. При их внесении растения преимущественно используют катион аммония, а остающиеся анионы образуют кислоты (HCl, H₂SO₄), подкисляя почву (рис. 26). Это проявляется вне зависимости от того, какому растению они предлагаются в качестве источника азотного питания.

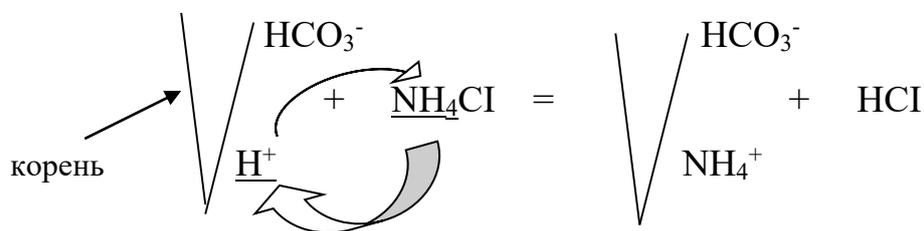


Рисунок 26 – Схема избирательного поглощения корнем катионов соли

Особого пояснения требует физиологическая кислотность азотнокислого аммония (аммиачной селитры). Первоначально она считалась физиологически щелочной солью в связи с представлениями о преимущественном (по мнению

некоторых авторов – исключительном) питании растений нитратами, а позднее – нейтральной солью, так как было установлено поглощение растениями и ионов аммония.

Объяснение физиологической реакции нитрата аммония лежит в особенностях метаболизма азота в растениях. Д.Н. Прянишниковым было блестяще доказано, что при одновременном присутствии HNO_3 и NH_3 аммиак быстрее, чем азотная кислота, потребляется растениями в процессе синтеза аминокислот и амидов и способствует большему накоплению всех органических азотистых соединений.

Нитратный азот, прежде чем вступить в синтез аминокислот и белков, в растениях должен восстановиться до аммония. Процесс этот многоступенчатый, требует затраты энергии, наличия ряда микроэлементов (Mo, Mn, Cu, B) и протекает с участием ферментов (нитратредуктазы, нитритредуктазы, гипонитритредуктазы, гидросиламинредуктазы). В связи с этим, растениям легче использовать готовый аммонийный азот, чем нитратный, который необходимо еще восстановить в своем теле.

Опытами Д.Н. Прянишникова было доказано, что нитрат аммония является физиологически кислой солью, причем эта кислотность достаточно сильно выражена. За счет более энергичного поступления в корневую систему иона NH_4^+ по сравнению с ионом NO_3^- уже за два часа достаточно развитое растение способно обеспечить заметный сдвиг реакции среды в сторону подкисления (с 5,8 до 4,8 pH). За этот срок в проведенных экспериментах было поглощено 27,9% аммонийного и всего 5% нитратного азота от введенного количества.

Физиологическая реакция различных солей, содержащих азот, показана в таблице 4.

При этом следует отметить, что в определенных условиях нитратное питание может быть лучше аммонийного. Это наблюдается при кислой реакции среды, недостатке в ней кальция и наличии достаточного количества молибдена, меди, марганца, участвующих в восстановительных процессах

нитратов в растениях, а также при внесении азотных удобрений в рядки при посеве сельскохозяйственных культур. В последнем случае использование аммонийных азотных удобрений может вызвать так называемое аммиачное отравление молодых растений. Это особенно опасно для культур с мелкими семенами, которые содержат мало углеводов, еще не сформировали достаточный ассимиляционный аппарат, обеспечивающий растения продуктами фотосинтеза для связывания аммиака.

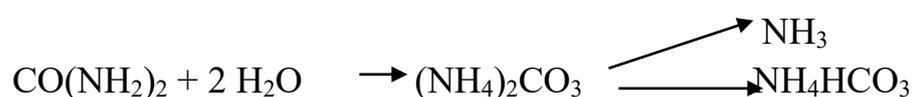
Таблица 4 – Изменение первоначального значения pH раствора в зависимости от источника азотного питания растений (Соколов, Ахромейко, Панфилов, 1938)

Источник азотного питания	KNO ₃	Ca(NO ₃) ₂	NaNO ₃	NH ₄ Cl	(NH ₄) ₂ SO ₄	NH ₄ NO ₃
Начальный pH	6,38	6,37	6,37	5,45	5,48	5,31
Конечный pH	7,40	7,55	7,66	3,16	3,34	3,59

Недостаток углеводов может быть причиной подавления синтеза амидов в растениях, но редукция нитратов еще может иметь место. В этих условиях физиологическая кислотность NH₄NO₃ может не проявляться, так как отсутствует обуславливающая ее причина.

Аммонийный азот удобрений в почве может подвергаться нитрификации с образованием азотной кислоты и ее солей – нитратов. В результате подкисляющее действие удобрения на почву, вызванное избирательным поглощением растениями аммония, усиливается за счет образования азотной кислоты при нитрификации некоторой части аммонийного азота или ослабляется при последующем образовании солей азотной кислоты.

Мочевина, содержащая азот в амидной форме, в почве, под действием уробактерий, выделяющих фермент уреазу, за 2–3 дня аммонифицируется с образованием малостойкого соединения – углекислого аммония, легко разлагающегося на аммиак и бикарбонат аммония, что может приводить к потерям азота:



В первые дни после внесения мочевины происходит временное местное подщелачивание почвы. Образующийся аммоний обменно поглощается почвой, постепенно нитрифицируется, в результате чего подщелачивание сменяется некоторым подкислением. Подкисление почвы возможно также за счет избирательного поглощения растениями ионов аммония после аммонификации мочевины. Это физиологически кислое удобрение, по потенциалу кислотности близкое к аммиачной селитре.

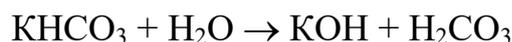
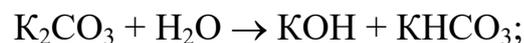
Калийные удобрения (кроме калийной селитры) также проявляют физиологическую кислотность, но она выражена слабее, чем у аммонийных солей, и часто зависит от вида растений. При внесении этих удобрений под калиелюбивые культуры подкисляющее действие их на почву проявляется сильнее.

Систематическое использование физиологически кислых удобрений требует поддерживающего известкования почв для нейтрализации образующихся кислот. Физиологическая кислотность аммиачной селитры значительно слабее, чем чисто аммонийных удобрений, но сильнее, чем хлористого калия, и примерно одинаковая с мочевиной. Так, для нейтрализации физиологической кислотности 1 ц хлористого аммония требуется 1,4 ц CaCO_3 , 1 ц сульфата аммония – 1,25, мочевины – 0,8 ц, аммиачной селитры – 0,75, хлористого калия – 0,5 ц CaCO_3 .

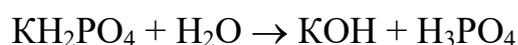
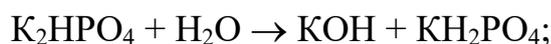
В реальных условиях подкисляющее или подщелачивающее действие минеральных удобрений на почву зависит от буферной способности почвы, ее микробиологической активности, доз вносимых удобрений, гранулометрического и минералогического состава почв и других факторов.

От физиологической кислотности солей следует отличать гидролитическую кислотность, а также кислотность удобрений, связанную с несовершенством технологического процесса их получения.

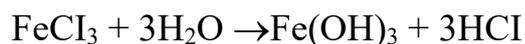
Все соли, применяемые в качестве удобрения, могут быть нейтральными, гидролитически кислыми или гидролитически щелочными. Соли, образованные сильным основанием и менее сильной кислотой (K_2CO_3 , K_2HPO_4 , $(NH_4)_2CO_3$ и др.) при гидролизе (взаимодействие с водой) сообщают раствору щелочную реакцию в результате образования сильного основания:



или:



Наоборот, соли, образованные слабым основанием и сильной кислотой при гидролизе подкисляют раствор за счет образования сильной кислоты:



Подкисление раствора происходит и при диссоциации дигидрофосфатов [$Ca(H_2PO_4)_2$, KH_2PO_4 и др.]:



Ряд удобрений (например, суперфосфат, аммиачная селитра, сульфат аммония), в силу несовершенства технологического процесса производства, могут иметь так называемую свободную кислотность, которая также подкисляет почвенную среду.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое физиологическая реакция солей? Приведите примеры физиологически кислых и щелочных азотных удобрений.
2. Какова физиологическая реакция калийных удобрений? Ответ обоснуйте.
3. В чем различия между физиологически и гидролитически кислыми (щелочными) солями?
4. Какова физиологическая реакция аммиачной селитры? Ответ обоснуйте.
5. Какое значение имеет физиологическая реакция солей при выращивании растений в полевых условиях и в водной культуре?

2 БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПОТРЕБНОСТЬ В ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

Потребность сельскохозяйственных культур в элементах минерального питания для формирования урожая зависят от их вида, сорта, почвенно-климатических условий, величины планируемого урожая и других факторов. Данные о биологических особенностях питания растений являются основой для определения доз, сроков и приемов внесения удобрений, выбора их форм.

2.1 ВЫНОС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ И ПОТРЕБНОСТЬ В НИХ РАСТЕНИЙ НА ОТДЕЛЬНЫХ ЭТАПАХ ОНТОГЕНЕЗА

Усредненные значения выноса питательных элементов различными культурами приведены в таблице 5, из которой видно, что сельскохозяйственные культуры потребляют питательные элементы в определенных соотношениях. Так, для зерновых культур соотношение между $N:P_2O_5:K_2O$ составляет 1,0:0,5:0,9; для корне- и клубнеплодов – 1,0:0,35:1,5. Растения потребляют азота больше, чем фосфора. Большинство культур для формирования урожая требуют калия меньше, чем азота, но больше, чем фосфора. Вместе с тем такие культуры как картофель, овощные, сахарная свекла, кормовые корнеплоды для формирования урожая требуют больше калия, чем азота. Эти биологические особенности культур должны учитываться при планировании удобрения.

Удобрения также оказывают влияние на вынос питательных веществ урожаем. Так, при внесении полного минерального удобрения (NPK) растет вынос азота и калия и в меньшей степени фосфора.

В течение онтогенеза растения поглощают питательные вещества неравномерно. Одно и то же растение на разных этапах вегетационного периода усваивает неодинаковое количество азота и зольных элементов и в разных соотношениях.

Таблица 5 – Вынос элементов минерального питания 1 т урожая различных культур (для Нечерноземной зоны России)

Культура	Основная продукция	Вынос 1 т основной продукции с учетом побочной, кг				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
Пшеница озимая	зерно	35	10	24	6,3	6,5
Пшеница яровая	зерно	27	11	22	5,6	7,8
Рожь озимая	зерно	24	10	29	8,8	6,0
Овес	зерно	31	10	27	9,7	7,2
Ячмень	зерно	26	10	26	7,7	6,3
Гречиха	зерно	30	15	40	18,0	8,5
Горчица белая	семена	57	20	23		
Горох	зерно	66	16	20		
Рапс озимый	семена	49	23	30		
Лен долгунец	семена	106	53	93		
	соломка	14	6	12	17,1	16,4
	волокно	80	26	95		
Сахарная свекла	корнеплоды	5,9	1,8	7,5		
Картофель	клубни	5	1,5	7	0,5	1,5
Кормовые корнеплоды	корнеплоды	5	1,5	7	0,5	1,0
Кукуруза на силос	зел. масса	2,5	1,5	5,0		
Подсолнечник на силос	зел. масса	3,0	1,0	5,0		
Горох	зел. масса	6,5	1,5	5,2		
Горохоовсяная смесь	зел. масса	2,2	1,4	4,0		
Клевер	сено	19,7	5,6	15,0	42,2	19,0
Клевер+тимофеевка	сено	17,6	6,0	17,5	27,0	12,5
Вика	сено	22,7	6,2	10,0		
Естественные сенокосы	сено	17,0	7,0	18,0	7,2	5,0
Капуста белокочанная	кочаны	3,3	1,3	4,4		
Капуста цветная	соцветия	9,5	3,3	12,5		
Морковь столовая	корнеплоды	5,2	1,9	6,0		
Свекла столовая	корнеплоды	5,0	1,7	6,3		
Огурец	плоды	3,6	1,6	4,5		
Томат	плоды	3,5	1,2	5,0		
Лук на репку	репка	3,0	1,1	3,2		
Лук на перо	перо	3,1	0,9	1,8		
Редис	корнеплоды	3,4	0,9	4,0		

Поступление минеральных веществ в отдельные периоды онтогенеза определяется потребностями растений, биологическими особенностями видов и сортов. Чем интенсивнее рост, тем больше требуется питательных элементов для увеличения биомассы, новообразования белков, углеводов и других веществ в растении.

На этапе прорастания молодое растение использует в основном запасные вещества семени, и его потребность в поглощении веществ из почвы невелика. По мере роста и исчерпания запасов семени эта потребность становится значительной и достигает максимума в период интенсивного роста вегетативной массы, цветения и завязывания плодов. В период созревания семян, когда происходит старение растений, необходимость в питательных элементах из почвы резко уменьшается.

В питании растений различают *критический период* и *период максимального потребления* элементов минерального питания.

В начале жизни растению, хотя и требуется мало питательных веществ, но недостаток питательных элементов в усвояемых формах ослабляет дальнейшее развитие и приводит к снижению урожая. Такой период в питании растений называется *критическим*. Продолжительность его охватывает 1,5–3 недели и совпадает с началом роста растений. Для обеспечения растений питанием в это время применяют небольшие дозы легкорастворимых удобрений (припосевное, рядковое удобрение). Необходимо учитывать, что внесение удобрений в более поздние фазы не устраняет ущерба, причиняемого растениям недостатком питательных веществ в первый период роста.

Азотное голодание растений в молодом возрасте вызывает резкое отставание в росте, слабое развитие ассимиляционной поверхности и сокращение продолжительности жизни листьев. Если же испытывающие недостаток азота растения получают его с опозданием, то это может приводить к ухудшению качества и структуры урожая. Например, у злаков в этом случае наблюдается дополнительное кущение и ко времени уборки зерно на новых побегах не успевает созреть.

Критический период в питании фосфором приходится на самый ранний период онтогенеза – две-три недели от начала прорастания семян. В физиологических опытах с ячменем О.Ф. Туевой было показано, что полное исключение фосфора из питательного раствора в пятинедельном возрасте растений не отражалось отрицательно на урожае и качестве зерна.

Формирование урожая в этом случае шло за счет перераспределения фосфатов из вегетативных органов в репродуктивные. В аналогичном опыте с яровой пшеницей удаление фосфора из питательной среды сразу после колошения также не причинило вреда растениям.

Кукуруза расходует все запасы фосфора в семенах в течение первых двух недель после их прорастания. Именно в это время она может обнаруживать признаки фосфорной недостаточности. Содержание фосфора у здоровой кукурузы в этот период составляет 0,3–0,35%. При содержании 0,20% листья принимают пурпурную окраску, которая и служит внешним признаком фосфорного голодания. Еще острее недостаток фосфора может проявиться у мелкосемянных культур с их очень небольшим запасом фосфора.

Именно в раннем возрасте недостаток фосфорного питания наиболее остро отрицательно отражается на росте и развитии растений. Причем фосфорное голодание в начале развития растений невозможно полностью преодолеть последующим улучшением питания.

Яровые злаки запасают фосфор в течение первых 40-50 дней вегетации и затем почти не реагируют на его внесение. Содержание этого элемента в растениях к началу дифференциации колосковых бугорков в значительной мере определяет число полноценных зерен в колосе, соотношение между репродуктивными и вегетативными органами. Поэтому недостаток фосфорного питания в ранний период приводит к значительному снижению продуктивности, которое не устраняется даже при обильном снабжении растений фосфором в более поздние периоды развития. Более того, растения, голодавшие в начале своего развития, отрицательно реагируют на последующее обильное фосфорное питание.

Для исключения фосфорного голодания в начальные периоды развития используют припосевное удобрение водорастворимых фосфорсодержащих удобрений (суперфосфат, аммофос и др.).

По мере роста и развития растений потребность в питании увеличивается и достигает наибольших значений. Этот период называют *периодом*

максимального потребления питательных веществ. Задача снабжения питанием в этот период решается путем допосевного (основного) внесения удобрений и проведения подкормок (азотными, иногда калийными удобрениями).

В период, предшествующий окончанию вегетации и созреванию, потребление питательных веществ из почвы однолетними растениями снижается и затем прекращается. На налив зерна, формирование другой хозяйственно важной части урожая используются элементы питания, которые были накоплены в вегетативных органах. Вещества в стареющих вегетативных органах (белки, нуклеиновые кислоты, хлорофилл и др.) подвергаются гидролитическому распаду и оттекают в созревающие репродуктивные части растений и запасующие органы (*реутилизируются*). В этот период целесообразны мероприятия, способствующие этому процессу.

Знание закономерностей поступления питательных элементов в растения позволяет правильно обосновать дозы и сроки применения удобрений под конкретные культуры.

Требовательность культур к содержанию элементов питания в почве определяется продолжительностью периода наибольшего их потребления. Чем короче время интенсивного поглощения растением питательных элементов, тем оно более требовательно к содержанию в почве этих элементов в доступной форме. Одни виды характеризуются довольно коротким периодом интенсивного накопления элементов минерального питания и поэтому высокой требовательностью к условиям питания для формирования урожая (яровые зерновые, лен, конопля), другие – более длительным периодом (картофель, сахарная свекла). Например, лен-долгунец поглощает максимальное количество питательных элементов за очень короткий период – во время цветения (рис. 27), пшеница – от выхода в трубку до завершения колошения. У гороха к началу формирования семян накапливается 70-80% азота и фосфора от общего накопления их растениями. Образование сухих веществ в этот период опережает потребление питательных элементов, поэтому последние как бы

разбавляются массой и концентрация их в тканях растений бывает ниже, чем в начале развития растений.

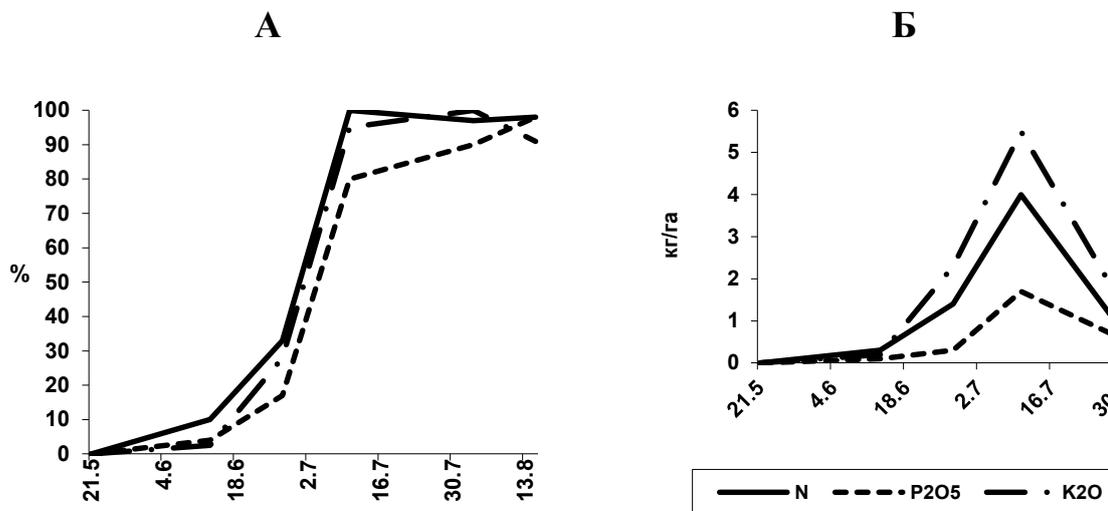


Рисунок 27 – Динамика поглощения питательных элементов льном
(А – в % к максимальному накоплению; Б – в кг/га за сутки)

У среднерусской конопли в период интенсивного роста (от начала бутонизации до цветения, который продолжается 30-40 дней) образуется три четверти органического вещества и потребляется 50% воды от общей потребности на создание урожая. В это время растения поглощают примерно 75% питательных элементов от максимального их содержания в урожае.

У озимых злаков период поглощения веществ более растянут. Так, у озимой пшеницы и ржи содержание азота и калия достигает максимума после окончания цветения – до начала созревания зерна, а поступление фосфора продолжается и далее. В соответствии с биологическими особенностями озимых (прохождение периода яровизации в зимний период), поглощение названных элементов у них длится около семи месяцев.

Разные сорта одного и того же вида культурных растений могут сильно различаться по требовательности к пищевому режиму. Скороспелые сорта с коротким периодом поглощения большей части питательных веществ, необходимых для создания урожая, более требовательны к условиям питания, чем позднеспелые сорта с растянутым периодом поглощения. Поэтому интенсивные высокоурожайные скороспелые сорта сельскохозяйственных

растений более отзывчивы на улучшение минерального питания, чем менее урожайные и более позднеспелые экстенсивные сорта.

Но, несмотря на более растянутый период поступления элементов минерального питания в растения позднеспелых сортов, суммарное их накопление в биомассе растений за весь вегетационный период у них выше, чем у скороспелых сортов. Это объясняется тем, что у позднеспелых сортов корневая система и фотосинтетический аппарат листьев функционируют более продолжительное время, что способствует большему накоплению минеральных элементов и в целом органического вещества.

Периоды наибольшей потребности растения в разных элементах часто не совпадают. Например, овес за 40-55 суток накапливает более 70% калия, 58% кальция, а магний поглощается с одинаковой скоростью почти до созревания зерна.

Для сахарной свеклы, как и для других корнеплодов, на первом году жизни характерно растянутое поступление фосфора и калия. Более сжаты сроки поступления в свеклу азота и особенно магния. Из данных таблицы 6 видно, что уже к началу августа свекла накопила более 3/4 азота от общей потребности и 4/5 магния. Азот, фосфор и калий поглощаются свеклой в течение 150-170 сут., а поглощение магния прекращается раньше – за 30-40 сут. до окончания вегетационного периода.

Таблица 6 – Динамика накопления элементов минерального питания в сахарной свекле (в % к максимальному) (Б.А. Рубин, 1976)

Дата наблюдения	Содержание элементов			
	N	P	K	Mg
10 июня	20	13	16	-
1 июля	54	35	46	65
23 июля	72	50	53	73
15 августа	91	66	72	91
1 сентября	98	74	73	100
20 сентября	100	98	93	85
5 октября (конец вегетации)	91	100	100	84

У многих культур потребление питательных веществ усиливается при переходе к репродуктивной фазе развития. У льна за период цветения продолжительностью 10-12 сут. общее количество золы в растении увеличивается в два раза, а содержание азота, фосфора, калия возрастает в 3-4 раза.

Земляника за период плодоношения, который длится около трех недель, накапливает примерно 40% фосфора и калия и около 20% азота от общей потребности (табл. 7).

Таблица 7 – Поглощение питательных элементов растениями земляники
(в % к максимальному) (Б.А. Рубин, 1976)

Дата наблюдения	Фаза развития	Содержание элементов питания		
		N	P	K
8 июня	Начало цветения	20	23	16
30 июля	Начало плодоношения	39	37	37
24 июля	Конец плодоношения	62	77	73
26 сентября	Конец вегетации	100	100	100

Высокие дозы минеральных удобрений во время прорастания семян могут ухудшить поглощение воды проростками из почвы, так как почвенный раствор в этих условиях приобретает высокое осмотическое давление и вода становится мало доступной растениям. В некоторых условиях, например, при недостатке влаги в почве, высокие дозы минеральных удобрений могут настолько повысить концентрацию почвенного раствора, что он будет оттягивать воду из молодых проростков и вызвать их увядание.

Во второй половине вегетации также следует избегать избытка азота в питании растений (за исключением силосных культур). Избыточное азотное питание в этот период может приводить к усилению вегетативного роста и, в этой связи, к снижению устойчивости растений к полеганию. В случае с зерновыми культурами происходит изменение соотношения между зерном и соломой в пользу последней, и снижению Кхоз (или индекса урожайности – , выхода зерна в общей биомассе растения).

Избыточное азотное питание осенью при выращивании озимой пшеницы приводит к снижению ее зимостойкости. Для этой культуры рекомендуется дробное внесение азотных удобрений осенью и весной. Если пшеница высевается по унавоженным предшественникам или после люпина, то минеральные азотные удобрения осенью можно не вносить.

У сахарной свеклы избыточное питание во второй половине вегетации отодвигает наступление технической спелости, увеличивает долю ботвы в общей биомассе растений, повышает содержание в корнеплодах растворимых небелковых соединений, среди которых есть соединения, затрудняющие выход кристаллического сахара и способствующие переходу его в патоку.

Полное исключение азота из питательной смеси в августе в условиях физиологического опыта не только не ухудшало дальнейший рост и созревание сахарной свеклы, но оказывало положительное влияние на массу и сахаристость корнеплодов. Аналогичные данные получены в опытах с картофелем и подсолнечником. У картофеля наблюдалось повышение содержания крахмала в клубнях, у подсолнечника – масличности семян. Эти результаты свидетельствуют о нецелесообразности поздней подкормки азотом этих культур.

Высокая эффективность азотных удобрений достигается лишь при достаточном снабжении растений другими питательными элементами. Усиленное питание азотом при недостатке фосфора и калия часто сопровождается неравномерностью созревания растений, их полеганием, снижением сопротивляемости растений грибным заболеваниям и неблагоприятным погодным условиям.

Избыточные дозы фосфорных удобрений вызывают преждевременное старение растений. Зафосфачивание почв отрицательно сказывается на доступности растениям железа и цинка.

Таким образом, поглощение питательных веществ сельскохозяйственными культурами в течение вегетации зависит от видовых и

сортовых особенностей, почвенно-климатических и других условий. Применение удобрений должно основываться на знании этих особенностей.

2.2 ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ОСНОВНОГО, ПРИПОСЕВНОГО (РЯДКОВОГО) УДОБРЕНИЯ И ПОДКОРМОК

При планировании удобрения сельскохозяйственных культур необходимо учитывать неравномерность поглощения ими питательных элементов в течение онтогенеза, различную отзывчивость на внесение удобрений, неодинаковую потребность в элементах питания отдельных сортов и видов.

В связи с этим важен правильный выбор приемов и сроков внесения удобрений. При единовременном внесении полного удобрения значительная часть питательных веществ (до половины от внесенного количества) может остаться неиспользованной растениями. Это во многом обусловлено особенностями взаимодействия удобрений с почвой. Например, калий и аммоний могут закрепляться (фиксироваться) в почве в необменной форме, растворимые формы фосфора – переходить в труднорастворимые соединения (химическое поглощение). Эти процессы особенно усиливаются при попеременном высушивании и увлажнении почвы (необменная фиксация), которое нередко наблюдается в весенне-летний период, а также на слабокультуренных кислых почвах (химическое поглощение фосфора). В условиях избыточного увлажнения часть легко подвижных ионов (например, нитратная форма азота) вымываются из пахотного слоя в нижележащие горизонты. В засушливых условиях верхние слои почвы могут пересыхать, при этом корневая система уходит в более влажные глубокие слои благодаря гидротропизму, и часть внесенных удобрений остается неиспользованной.

Наиболее полно обеспечить растения всеми необходимыми элементами питания можно путем внесения удобрения в разные приемы (сроки): *до посева (основное); при посеве в рядки или гнезда; в подкормку* вегетирующих растений.

Допосевное внесение удобрений проводят осенью или весной под вспашку или культивацию, при этом вносят 2/3–3/4 общей дозы. Это удобрение обеспечивает растение питательными элементами веществ на весь период роста и развития.

Несмотря на то, что в начале роста растения питаются в основном за счет запасных веществ семени, уже в этот период может возникнуть необходимость в дополнительном питании, особенно фосфором. Это бывает особенно важно для мелкосемянных культур. Гораздо меньшее значение в рядковом удобрении принадлежит азоту и калию. Это подтверждается исследованиями Д.А. Сабинина: растения кукурузы формировали большую массу зерна при локальном внесении фосфора, чем азота или калия (табл. 8).

Таблица 8 – Влияние приемов внесения удобрений на продуктивность растений кукурузы, г/раст.

Вариант	Масса зерна, г
НПК смешано со всей почвой	25,2
НК смешано с почвой, Р в гнездо	40,1
НР смешано с почвой, К в гнездо	36,6
РК смешано с почвой, N в гнездо	37,8

Внесение небольших доз фосфорных удобрений при посеве создает благоприятные условия питания молодых растений: они быстрее растут, формируют достаточно мощную корневую систему за короткий период времени, лучше переносят недостаток влаги при ранних весенних засухах. Хорошее развитие корневой системы позволяет растениям лучше использовать питательные элементы из основного удобрения и почвы. Быстрый рост надземных органов повышает конкурентную способность культурных растений и позволяет им лучше бороться с сорняками.

Изменяя схему внесения удобрений можно управлять ростом корней и, как следствие, урожайностью.

В опыте с яровой пшеницей (Ястребов, 1956) одна и та же небольшая доза удобрений (N30P45K45) вносилась двумя способами: в одном варианте –

полностью под вспашку, в другом – дробно: N15P30K30 – под вспашку и N15P15K15 – при посеве. При дробном внесении удобрений объем, общая и активная поглощающая поверхность корней уже к фазе кущения увеличилась в 1,4–1,5 раза, а прибавка урожая оказалась в 1,6 раз больше, чем при внесении всей дозы однократно под вспашку (табл. 9). Следовательно, быстрый рост корневой системы обеспечил более активное поглощение веществ из почвы и формирование более высокого урожая зерна.

Таблица 9 – Влияние различных приемов внесения удобрений на рост корневой системы и урожай яровой пшеницы

Показатели	Вариант		
	Без удобрений	N ₃₀ P ₄₅ K ₄₅ под вспашку	N ₁₅ P ₃₀ K ₃₀ под вспашку и N ₁₅ P ₁₅ K ₁₅ при посеве (в рядки)
Объем корней 10-ти растений, см ³	1,5	1,63	2,33
Общая поглощающая поверхность, м ² на 10 растений	1,99	2,08	3,41
Активная поглощающая поверхность, м ² на 10 растений	0,57	0,68	1,04
Урожай зерна, ц/га	13,71	16,40	18,08
Прибавка урожая, ц/га	-	2,69	4,37

Наиболее эффективны для припосевного внесения гранулированные фосфорные удобрения. При их использовании создаются местные очаги с повышенной концентрацией фосфора. Гранулированные удобрения, по сравнению с порошковидными, имеют меньшую площадь соприкосновения с почвой и поэтому значительно меньше связываются почвой, более полно используются семенами. Например, 50 кг/га гранулированного суперфосфата, внесенного в рядки вместе с семенами зерновых культур, дает такое же повышение урожайности, как 2–3 ц/га порошковидного суперфосфата, внесенного вразброс до посева под культивацию.

Удобрение, внесенное в виде подкормки, позволяет эффективно регулировать питательный режим в наиболее важные периоды развития растений, влиять на величину и качество урожая, а также повышать

приспособительные возможности растений в различных условиях внешней среды.

Для повышения урожайности озимых зерновых культур, продуктивности культурных лугов и пастбищ эффективна ранневесенняя подкормка азотными удобрениями. При весеннем возобновлении вегетации эти растения особенно нуждаются в азотном удобрении, так как почва бывает обеднена азотом из-за осенне-весенних потерь от вымывания и низкой микробиологической активности почвы из-за низкой температуры. При повышении температуры усиливается мобилизация азота почвы микроорганизмами, поэтому, чем позже проводится подкормка озимых азотными удобрениями, тем ниже эффективность этого мероприятия.

Проведенная в оптимальные сроки она приводит к усилению ростовых процессов и улучшению жизнеспособности растений, ослабленных перезимовкой. В результате растения более активно используют воду, а также питательные вещества почвы и удобрений. Прибавка урожайности при такой подкормке составляет 3–4 ц/га зерна.

Дробное внесение азотных удобрений не только повышает продуктивность растений, но и улучшает качество зерна, благодаря более полному обеспечению потребности растений в этом элементе в ходе онтогенеза. В опытах Д.А. Сабинаина наибольший эффект был получен при перенесении половины общей дозы азота в подкормку яровой пшеницы во время цветения (табл. 10).

Некорневые подкормки (путем опрыскивания растений слабыми растворами удобрений) основаны на способности клеток листьев к поглощению минеральных солей. Такие подкормки позволяют целенаправленно регулировать химический состав и качество продукции растениеводства. Подкормка пшеницы мочевиной в период колошения–цветения повышает содержание белка в зерне на 0,5–2%, при этом внесенный азот активно включается в зерне во фракции глиадинов и глютеинов – белков, образующих

клейковину. Это приводит к повышению ее содержания на 3–5% и улучшению хлебопекарных качеств пшеничной муки.

Таблица 10 – Влияние дробного внесения азота на продуктивность и содержание белка в зерне яровой пшеницы (Д.А. Сабинин, 1971)

Вариант	Масса зерна, г/сосуд	Накопление азота, мг/растение	Содержание белка в зерне, %
Без удобрений	7,2	35,3	15,9
НРК при посеве	8,7	48,2	15,3
РК при посеве, ¼ N при кущении, ¼ N при цветении, ½ N во время налива	12,1	79,1	18,6
РК и ¼ N при посеве, ¼ N при кущении, ½ N при цветении	12,2	91,5	22,8
РК и ½ N при посеве, ½ N при кущении	11,6	66,1	18,2

Некорневая подкормка пшеницы азотом эффективна на поливных участках: содержание белка в зерне пшеницы оказывается нередко выше, чем на богаре (без полива).

С помощью некорневых подкормок можно повысить сахаристость корнеплодов сахарной свеклы (И.В. Якушкин, М.М. Эдельштейн). Ко времени уборки этой культуры в листьях остается 3–4% сахара. Для того чтобы перевести эту часть сахарозы из листьев в корнеплоды, применяют предуборочную (за 3–4 недели до уборки) некорневую подкормку растений фосфорно-калийными удобрениями. Калий усиливает подвижность углеводов в листьях и способствует их оттоку в корнеплоды. Он не только активизирует транспорт сахарозы по флоэме, но и повышает активность амилаз – ферментов, обеспечивающих гидролитическое расщепление крахмала в листьях с образованием транспортных форм углеводов. Калий необходим также для образования сахарозы в корнеплодах. Одновременное внесение фосфора усиливает этот процесс. Поэтому уже через 2–4 дня после подкормки количество сахаров в листьях начинает уменьшаться, благодаря их оттоку в корни, а сахаристость корнеплодов в итоге повышается на 1–2%.

Для клевера и люцерны эффективна некорневая подкормка микроэлементами – бором и молибденом. Бор усиливает рост пыльцевых трубок, прорастание пыльцы, увеличивает количество цветков и плодов, положительно влияет на образование семян, ускоряет их созревание. Поэтому при выращивании клевера на семена подкормка бором очень желательна. Молибден способствует образованию клубеньков на корнях, лучшей фиксации азота из воздуха и накоплению белков в растениях, повышает качество урожая сена и семян.

Некорневыми подкормками можно влиять на химический состав и технических культур. Например, продуктивность эфирноносных растений, у которых эфирное масло добывается из вегетативных органов (мята, герань, базилик), можно повысить на 40–70% путем подкормки азотом перед цветением. Внесение азота задерживает процессы физиологического старения листьев, удлиняет период активного синтеза эфирных масел и повышает выход этого продукта. Фосфорная кислота, внесенная в этот период, наоборот, ускоряет старение листьев и снижает накопление эфирного масла.

Подкормка азотом растений, у которых эфирное масло добывается из соцветий или семян (кориандр, анис, шалфей, фенхель), задерживает сроки наступления цветения и созревания семян и значительно уменьшает сбор эфирного масла.

Следует помнить, что некорневая подкормка не может заменить основного удобрения и корневого питания. Питание через листья является добавочным. Применение его изолированно, без основного удобрения, не обеспечивает нормального роста растений. Оно не позволяет заметно повысить урожайность сельскохозяйственных культур и имеет, в основном, другие задачи, которые связаны, в первую очередь, с улучшением качества продукции растениеводства.

Недостаток питания через листья состоит в том, что при опрыскивании можно использовать только сильно разбавленные растворы (0,5–2%-ные), поэтому растение получает небольшое количество питательных веществ,

недостаточное для полного обеспечения потребности в них. Кроме того, многие минеральные соли даже в небольших концентрациях вызывают ожоги листьев. Поэтому растворы не всех солей можно применять для опрыскивания растений.

Из азотных удобрений для некорневой подкормки лучше подходят растворы мочевины, которая, в отличие от других форм азотных удобрений, не обжигает листья даже в повышенной концентрации (20%-ный раствор). Она хорошо усваивается растениями и может поглощаться через лист в виде целой молекулы. Использование мочевины для синтеза органических азотистых веществ в растениях осуществляется благодаря наличию у них активного фермента уреазы, который подвергает мочевины гидролизу с образованием аммиака и угольной кислоты. Далее аммиак включается в реакции синтеза аминокислот и амидов.

Некорневое питание фосфором практикуется очень редко. Используя только его, почти невозможно вырастить растение до созревания. Листья начинают отставать в росте, затем преждевременно отмирают и опадают. Нормальный рост растений обеспечивается только при поступлении фосфора через корни. Через листья можно давать лишь небольшие количества этого элемента: при выращивании бобов, кукурузы, томатов – до 14% от общей потребности растений; при выращивании яблони, груши – 8–12%. Некорневая подкормка томатов способствует более раннему получению товарной продукции.

Вопросы для самоконтроля

1. Как изменяются потребности растений в питательных веществах в течение онтогенеза?
2. Что понимают под критическим периодом и периодом максимального потребления элементов минерального питания растением?
3. С каким периодом развития совпадает критический период в питании растений фосфором и почему? На какие периоды развития растений приходится максимальное потребление элементов минерального питания?
4. Какую физиологическую роль имеет припосевное внесение удобрений? Использование каких удобрений при этом наиболее эффективно и почему?
5. Какое значение имеет ранневесенняя подкормка азотом озимых культур и многолетних трав?
6. Как влияют на качество урожая сельскохозяйственных растений некорневые подкормки?

2.3 РАСТИТЕЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

Научной основой *диагностики питания* растений является теория минерального питания, значение отдельных элементов в обмене веществ и в формообразовании. Изменение в химическом составе тканей и органов под влиянием минерального питания вызывает сдвиг направленности и интенсивности биохимических процессов, сопровождается морфологическими изменениями листьев и других органов растений (окраска, форма, расположение, площадь, длина и другие).

Первыми во времени происходят химические изменения, и они служат физиологической основой листовой диагностики. Она позволяет определить *критические уровни* содержания питательных элементов в листьях и их оптимальное соотношение. Под критическим уровнем понимают концентрацию элемента в растении или органе, превышение которой уже не дает прибавки урожая.

Диагностика позволяет:

- установить фактическую доступность растениям питательных веществ почвы и удобрений в условиях конкретной технологии и уточнить на этой основе систему удобрения;
- быстро ориентироваться в оценке состояния посева на основе того, служит ли минеральное питание причиной наблюдаемого состояния растений;
- в селекции – выявить генотипы, наиболее ценные по отзывчивости на условия питания;
- в сортоиспытании – оценить особенности каждого сорта в отношении требований к почвенному питанию и разработать на этой основе сортовую агротехнику;
- оценить характер загрязнения среды и формирующейся растительной продукции, так как растения являются аккумуляторами многих веществ, содержащихся в почве, воде и воздухе.

Растительная диагностика является частью комплексной диагностики питания растений (рис. 28) и подразделяется на *морфо-биометрическую, визуальную, химическую (листовую, тканевую и функциональную), субмикроролевой метод, дистанционную.*



Рисунок 28 – Схема комплексной диагностики питания растений

2.3.1 ВИЗУАЛЬНАЯ И МОРФОБИОМЕТРИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

Визуальная диагностика заключается в установлении обеспеченности растений элементами питания по внешним признакам: изменению окраски, размеров, формы листьев или других органов, росту и развитию растений. При этом следует убедиться, что растения не поражены болезнями, не повреждены

вредителями, нет переуплотнения, переувлажнения, засухи, избыточной кислотности почвы, что может быть причиной угнетенного состояния растений.

Питательные элементы по их подвижности в растениях делят на способные к реутилизации (N, P, K, Mg) и со слабой или отсутствием способности к реутилизации (Ca, B, Cu, Mn, Fe, Zn). Недосток первых, поэтому, прежде всего и ярче всего проявляется на состоянии развитых, закончивших рост листьев, а вторых – на самых молодых, формирующихся органах растений.

Нарушение нормального процесса жизнедеятельности растений является следствием изменений внутриклеточного метаболизма. При этом одни соединения распадаются или не образуются в достаточных количествах, другие соединения, несвойственные нормальному клеточному содержанию, образуются. Это приводит к морфологическим метаморфозам органов растений, которые наиболее ярко проявляются в изменении окраски листьев. Например, из-за распада хлорофилла при недостатке азота листья приобретают бледно-зеленый, желтоватый цвет, при недостатке фосфора – из-за нарушения метаболизма сахаров, который в этих условиях протекает по пути образования антоциана, появляется покраснение листьев. Изменяется форма растений (морфологические уродства при недостатке бора, розеточность листьев плодовых при недостатке цинка).

Рассмотрим признаки визуальной диагностики при остром недостатке или токсичном избытке разных элементов у основных сельскохозяйственных культур.

Диагностические признаки недостатка азота могут проявляться весной на всех почвах, а на легких почвах – и летом. Из-за нарушения синтеза хлорофилла листья приобретают светло-зеленую окраску с переходом в желтоватую. Изменение окраски происходит на всей листовой пластинке, включая жилки. У некоторых культур, например, у капусты нижние листья приобретают красноватую окраску. Это происходит из-за того, что при недостатке азота происходит накопление углеводов в тканях листьев, так как

без азота они не могут использоваться для синтеза аминокислот и других азотистых соединений. В этом случае сахара используются на синтез антоцианов, которые и обуславливают появление красной окраски листьев. Так как азот способен к реутилизации, появление этого признака начинается с нижних листьев, с их верхушек, и распространяется на следующие (вверх) листья.

У кукурузы на нижних листьях желтеет центральная жилка при зеленых краях –V-образная окраска листа (рис. 29). Початки формируются искривленными.



**Рисунок 29 – Визуальный признак дефицита азота на кукурузе:
V-образная окраска листа (W. Bergmann, 1983)**

У некоторых культур (*земляника, древесные растения*) появляется красноватая или багровая окраска. Рост и плодоношение резко ухудшаются. Задерживается прирост побегов, которые формируются тонкими и деревянистыми. Слабое образование усов у земляники. Наблюдается раннее опадение листьев. Листья, стебли и плоды имеют меньшие размеры.

У зерновых культур при недостатке азота на ранних стадиях развития образуются колосья с меньшим количеством зерен и более низким содержанием в зерне белка, ослабляется их кущение и образование боковых побегов. Растение небольшое, стебель тонкий, жесткий, листья узкие, прижатые к стеблю.

Остро реагирует на недостаток азота *картофель*: резко задерживается рост, нижние листья сначала светло-желтые, затем желто-зеленые, края закручены внутрь (чашеобразный лист), клубни мелкие.

Недостаток азота у *белокочанной и цветной капусты* проявляется в появлении розово-желтой окраски нижних листьев, медленном росте растений.

Огурец и томат при недостатке азота приобретают веретенообразный габитус. Плоды у огурца светло-зеленые, искривленные, к концу заостренные, кончик загнут. У томатов на нижней стороне желтых нижних листьев появляется антоциановая окраска, рост задерживается, стебли постепенно краснеют.

Растения, по внешнему виду которых легко определить недостаток или избыток того или другого элемента минерального питания, называют *растениями-индикаторами*. Такими растениями в отношении недостатка азота являются огурец, капуста белокочанная и цветная, картофель, кукуруза, черная смородина, яблоня.

Негативное влияние на растения оказывает не только недостаток, но и **избыток азота**: замедляется созревание растений; повышается опасность их полегания, повреждения болезнями; в основной и побочной продукции повышается содержание нитратов. Индикаторным растением в отношении избытка азота является огурец (рис. 30).



Рисунок 30 – Растения огурца с симптомами слабого избытка азота (слева) и сильной N-токсичности (справа) (W. Bergmann, 1983)

Диагностические признаки недостатка фосфора (чаще проявляются на кислых суглинистых почвах): слабое развитие корневой системы, тонкие стебли, скручивание листовой пластинки, нижние листья мелкие, темно-зеленые, серовато-зеленые, у некоторых растений (*овощные, кукуруза* и др.) нижние поверхности листьев и стебли приобретают фиолетово-красный цвет. При достаточной обеспеченности азотом и дефиците фосфора зеленые листья могут приобретать голубоватый оттенок, но между жилками появляются бурые пятна, которые затем сливаются и листья засыхают. Края больных листьев при фосфорном голодании загибаются кверху. Рост растений заторможен. Резко снижается семенная продуктивность. Антоциановая окраска листьев при недостатке фосфора объясняется тем, что в этих условиях нарушается обмен сахаров. Для того чтобы быть вовлеченными в обмен веществ сахара должны быть фосфорилированы с участием АТФ, так как сахара участвуют в реакциях обмена веществ в форме фосфорных эфиров. При недостатке фосфора этот процесс ослабляется и избыточные сахара используются на образование антоциана. Первые признаки появляются на самых старых (нижних) листьях, которые после смены окраски засыхают.

У *картофеля* листья становятся морщинистыми, темно-зелеными, при остром голодании приобретают фиолетовую окраску, края их долей закручиваются кверху и доли имеют чашеобразную форму, в клубнях появляются ржаво-желтые пятна. Ухудшается качество клубней, в мякоти образуются бурые пятна, которые при варке затвердевают.

У *кукурузы* при недостатке фосфора отмечается задержка развития, листья, начиная с нижних, приобретают антоциановую окраску (рис. 31), нарушается оплодотворение, початки получаются искривленными, с засохшей верхушкой, череззерницей.

Недостаток фосфора у *бобовых* проявляется в карликовости растений, покраснении стеблей, задержке цветения и плодоношения



Рисунок 31 – Внешний признак недостатка фосфора у кукурузы (W. Bergmann, 1983)

При длительном голодании у *плодовых культур* формируются тонкие побеги с мелкими или ивообразными листьями, которые становятся оранжево-желтыми. Плоды косточковых плодовых ненормально зеленые, иногда с ярким румянцем.

Индикаторными растениями в отношении питания фосфором являются кукуруза, турнепс, томат, брюква, яблоня, крыжовник.

Нормальное питание растений фосфором ускоряет наступление плодоношения, сокращает период созревания, у зерновых культур увеличивает отношение зерна к соломе. Практически все сельскохозяйственные культуры особенно чувствительны к недостатку фосфора в ранние периоды развития. Поэтому основным элементом системы удобрения всех сельскохозяйственных культур должно быть припосевное (в рядки) внесение водорастворимых фосфорных удобрений.

Диагностические признаки недостатка калия: образование листьев неправильной формы, непропорционально больших, вдоль краев листьев появляется потемнение, позже ткань отмирает (признак получил название «краевой ожог»). Отмирание тканей начинается с верхушки листа и распространяется вниз по краям и между жилками. Задерживается рост,

особенно заметно укорачиваются междоузлия. При сильном недостатке калия наблюдается непрочность стеблей, что вызывает полегание растений.

Этот признак часто отмечается на пойменных, торфяных почвах, легких песчаных и супесчаных почвах.

От недостатка калия особенно страдают свекла, картофель, капуста, кукуруза, кормовые бобы, горох, люцерна, томаты, плодовые культуры.

Растения *картофеля* бывают приземистыми, нижние листья темно-зеленые, с впалыми жилками, плотно прилегают к стеблю, морщинистые, непропорционально большие, куполообразные. Вначале верхушки и края листьев, а затем все растение приобретает бронзовую окраску с «краевым ожогом». Рост задержан, кусты мелкие, клубни мелкие. При разрезании клубни быстро темнеют (рис. 32).



Рисунок 32 – Сильный К-дефицит картофеля: краевой ожог листьев и потемнение разрезанных клубней через 1 час и 20 часов (слева – клубни без К-дефицита)
(W. Bergmann, 1983)

У *кукурузы* края сформированных листьев желтеют, затем буреют, отмирают, а около жилки ткани остаются зелеными, т.е. признак обратный по сравнению с недостатком азота, при котором проявляется V-образная желтая окраска листа. Початки мелкие, плохо озерненные, с заостренной верхушкой. Растения имеют склонность к полеганию.

У *капусты* сначала края старых листьев становятся бронзовыми, а со временем листья буреют целиком (рис. 33).



Рисунок 33 – Дефицит калия на капусте (справа внизу – характерный чашеобразный лист) (W. Bergmann, 1983)

У *томата* листья мелкоморщинистые, плоды деформированы, с черными пятнами на кожуре и в мякоти, некрепкие. Около плодоножки появляется «зеленый воротник», который бывает и при несбалансированном азотно-калийном питании – на фоне избытка азота (рис. 34), мякоть жесткая, вкусовые качества плодов ухудшаются.



Рисунок 34 – «Зеленый воротник» у плодов томата при дефиците калия (W. Bergmann, 1983)

У *огурца* края листьев становятся бронзовыми и отмирают, а бронзовость распространяется между жилками к середине листа. Плоды узкие к ветви и увеличенные, одутловатые в верхней части.

У *бобовых* культур при остром дефиците калия края нижних листьев с краевым ожогом, рваные. У *люцерны* и *клевера* рост останавливается раньше, чем проявляются признаки калийного голодания.

Морковь при калийном голодании имеет закрученные, бледно-серые нижние листья.

У *плодовых культур* нижние листья сморщенные, голубовато-зеленые, с неровными краями, побеги тонкие. Индикатором на дефицит калия является слива. У нее раньше, чем у других культур проявляется «краевой ожог» нижних листьев.

У *земляники* – на листьях красная кайма, ягоды плохого качества, плохо хранятся. Слабо окрашены.

Крыжовник имеет пурпурные листья.

Посадки *малины* имеют серый цвет из-за того, что листья свернуты вверх опущенной нижней стороной.

Недостаток калия приводит к ухудшению качества продукции.

Внешние признаки калийного голодания проявляются, когда содержание калия в растениях уменьшается в 3–5 раз по сравнению с нормой.

Избыток калия (отмечается при недостатке магния) приводит к образованию горькой гнили на плодах.

Диагностические признаки недостатка кальция. Так как кальций не способен к реутилизации, то признаки дефицита питания им проявляются на верхних, молодых частях растений в виде белесой окраски при зеленой окраске нижних листьев. При остром недостатке кальция отмечается деформация верхушек стеблей (сгибание вместе с верхними листьями и соцветиями) и их ослизнение. Точки роста отмирают. Этот признак острее всего выражен на сильнокислых почвах и обусловлен нехваткой или отсутствием образования достаточного количества пектата кальция в стенках клеток, обуславливающего

прочность стенок, тогда как пектиновая кислота вызывает ослизнение тканей и даже склеивание соседних листьев. Очень чувствителен к недостатку кальция рост корней.

У *льна* этот признак проявляется на 5–10 см части верхушки стебля: он утончается, переламывается, поникшая верхушка отмирает.

У *картофеля* верхние листья распускаются с трудом. Корни укорочены, с вздутиями. В клубнях в местах их прикрепления появляются участки отмершей ткани.

На верхушке зеленых и зрелых плодов *томата* появляются темные пятна отмерших тканей (рис. 35).

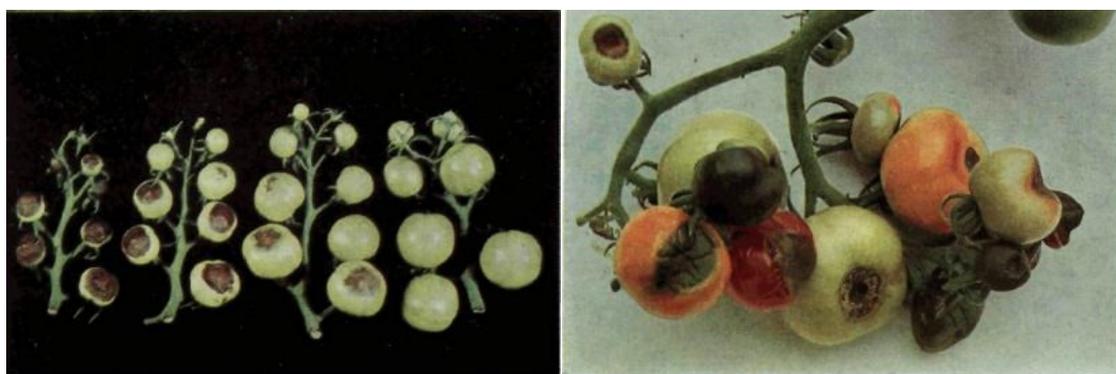


Рисунок 35 – Плоды томата при разном уровне снабжения кальцием (W. Bergmann, 1983)

У *плодовых культур* после образования на верхних листьях пятен отмерших тканей побег замедляет рост, верхушки его гибнут. Отмирают кончики корней. Косточковые плодовые заболевают гоммозом (камедетечением). В яблоках образуется горькая ямчатость, когда отношение $(K+Mg):Ca > 1$.

Диагностические признаки недостатка магния чаще всего проявляются на песчаных и супесчаных почвах, бедных от природы магнием, особенно при обильном калийном удобрении. Признак дефицита этого элемента выражается в «мраморовидной» окраске листьев: жилки старых листьев долго остаются зелеными, а ткани между жилками обесцвечиваются (рис. 36). Изменение окраски листьев связано с тем, что магний входит в состав хлорофилла и определяет его зеленую окраску. При недостатке магния синтез

хлорофилла нарушается. Разрушение хлорофилла начинается с пластинок нижних листьев.



Рисунок 36 – «Мраморовидная» окраска листьев подсолнечника, картофеля и томата при Mg-дефиците (W. Bergmann, 1983)

У злаковых культур нижние листья становятся полосатыми, так как у них жилкование параллельное, и жилки долго сохраняют зеленую окраску. Осветление листа начинается с краев и развивается к середине.

У картофеля заболевание нижних листьев начинается с черешка.

У плодовых культур остается только несколько верхних листьев, остальные опадают. Деревья к перезимовке остаются ослабленными, образуют мало плодовых почек. У сливы и груши листья темнеют, становятся почти черными.

У ягодных культур листья становятся желтыми, красными, пурпуровыми. Отмечается ранний листопад, начиная с нижней части побега.

Диагностические признаки недостатка серы весьма сходны с признаками недостатка азота, но проявляются на молодых органах в виде хлороза: листья становятся желтыми, иногда оранжевыми или с красноватым оттенком. Изменение окраски связано с нарушением синтеза белков, так как сера входит в состав аминокислот метионина, цистеина, цистина, необходимых для синтеза почти всех белков. Рост замедлен, побеги укорочены, твердые, тонкие и прямые.

У бобовых культур ухудшается развитие клубеньков на корнях, снижается азотфиксирующая способность.

Дефицит серы часто наблюдается у серолюбивых культур: капусты, брюквы, рапса, а также у томата, подсолнечника, люцерны, клевера, гороха. Встречается на бедных органическим веществом песчаных и супесчаных почвах.

Диагностические признаки недостатка бора. Дефицит бора обостряется на карбонатных и переизвесткованных почвах. Бор не способен к реутилизации (как и остальные микроэлементы), поэтому признаки, вызванные его недостатком, развиваются на верхних частях растений. Особенно страдают точки роста стеблей и корней. Многократные гибель верхушечных почек и возобновление роста боковых побегов и листьев приводят к уменьшению или отсутствию образования цветочных почек, образованию густых мелких кустов с «розеточностью» листьев, «ведьминых метл» у древесных растений, наблюдаются тератологические (уродливые) изменения формы органов. Особенно чувствительны к недостатку бора двудольные растения. При этом они часто погибают в самом раннем возрасте. Признаки дефицита бора у цветной капусты и столовой свеклы показаны на рисунке 37.



Рисунок 37 – Рыхлое и потемневшее соцветие цветной капусты и ракообразная гниль корнеплода столовой свеклы при дефиците бора (W. Bergmann, 1983)

Многие злаки, в отличие от двудольных, более устойчивы и проявляют признаки борного голодания только в период формирования репродуктивных

органов. В отсутствие бора часто не образуются пестики и пыльники, пыльца или совсем не формируется или формируется нежизнеспособной. Если бора не хватает до цветения или до образования семян, то завязи опадают.

У колосовых злаков колосья ветвятся, резко уменьшается число цветков и повышается их стерильность. Растения поражаются головней и ржавчиной.

У кукурузы образуются мелкие, искривленные, со сплюснутыми зернами початки. На листьях появляются белые пятна, затем полосы, и лист засыхает.

Лен при недостатке бора до бутонизации образует редуцированные цветки, а при остром дефиците точка роста у него отмирает. Из пазух листьев появляются новые побеги, но и на них вскоре появляются те же признаки.

У картофеля при недостатке бора сначала гибнут точки роста корней, потом верхушечная точка роста стебля, рост замедлен. Клубни мелкие, покрыты паршой, при варке водянистые.

У цветной капусты повреждены стебель и корни, формируется бурая рыхлая головка – заболевание, получившее название «коричневой гнили».

У корнеплодов развивается «гниль сердечка» - загнивание центральных, молодых листьев, которое захватывает ткани корнеплода с развитием их дуплистости.

У плодовых культур верхушки побегов засыхают, побеги оголяются, у их основания образуются «розетки» новых листьев измененной нормы. Плоды мелкие, уродливые, в мякоти и на кожице образуется опробковевшая ткань, кожица – в трещинах.

Избыток бора у разных растений проявляется по-разному: у *пшеницы* образуется мелкий уродливый колос с сухим «флаговым» листом; у *кукурузы* на нижних листьях развивается заболевание, похожее на повреждение растений при недостатке калия; *картофель* плохо прорастает, у него отмирают проростки, растения со слабой корневой системой, с бело-желтыми нижними листьями, резко снижается урожай; у всех *овощных* культур на нижних листьях образуется «краевой ожог», подобный «ожогу», образующемуся при недостатке калия.

Диагностические признаки недостатка меди острее проявляются на кислых, торфяных и песчаных почвах. При недостатке меди белеют и отмирают кончики листьев. Затем по краям разрушается листовых пластинок хлорофилл. Это связано с тем, что медь способствует образованию устойчивых комплексов между хлорофиллом и соответствующими белками. Листья теряют тургор, затем все растение увядает. У однодольных растений наблюдается хрупкость листьев и их свертывание, а у двудольных, наряду с хрупкостью, листья приобретают ложечкообразную форму. Наиболее ярко дефицит меди заметен у пшеницы, ячменя, овса, подсолнечника, льна и у плодовых культур.

У *зерновых* задерживается рост, все растение светло-зеленое (особенно верхние части), верхние листья сухие, скрученные; затруднено колошение; колосья и метелки недоразвиты, со стерильными цветками. При остром дефиците меди колосья и метелки совсем не образуются (рис. 38).



Рисунок 38 – Дефицит меди на овсе и пшенице (W. Bergmann, 1983)

У *подсолнечника* нарушается образование соцветия – оно формируется мелким и искривленным.

У *льна* листья образуют розетку, цветки не формируются. Ослабленные растения полегают.

Плодовые растения имеют листья уродливой формы. Листья и плоды деревьев покрываются бурыми пятнами. У *яблони* отмечается «увядание кончиков» побегов. Боковые почки образуют пучки новых побегов «ведьмины

метлы». Слива – индикаторное растение на недостаток меди: молодые листья желтые, засыхают и опадают летом. Плодоношение слабое. Кора ствола растрескивается. Натеки камеди.

Диагностические признаки недостатка молибдена. Так как молибден связан с азотным обменом растений, то визуальные признаки его недостатка схожи с признаками недостатка азота, с той лишь разницей, что при недостатке азота, прежде всего, страдают старые, закончившие развитие листья, а при недостатке молибдена – верхние молодые органы.

Недостаток молибдена проявляется чаще на кислых почвах. Один из путей повышения обеспеченности растений молибденом в этих условиях является известкование почв.

На дефицит молибдена реагируют капуста, особенно цветная (индикаторное растение на недостаток молибдена), бобовые культуры.

У *цветной капусты* не развиваются листовые пластинки, особенно у вновь образующихся листьев: у самых молодых почти нет пластинки, остается лишь центральная жилка («хлыст»); соцветия (головки) плохо развиваются, а развившиеся буреют и постепенно их ткани распадаются.

У *бобовых* культур (люцерна, клевер, фасоль, горох и другие) верхние листья становятся светло-зелеными, бледно-желтыми; старые листья вялые, с закрученными краями, окрашиваются в красно-коричневый цвет. Пораженные ткани отмирают.

Диагностические признаки недостатка цинка чаще обнаруживаются на карбонатных, сильно известкованных почвах, особенно при внесении высоких доз фосфорных удобрений. Сильнее они проявляются весной. Так как цинк не способен к реутилизации, то страдают, прежде всего, молодые органы растений.

У *кукурузы* раскрывающиеся листья имеют бело-желто-зеленую окраску («белые ростки», «белая чума»). Развивается хлороз между жилками. Рост растений задержан, междоузлия короткие и тонкие, початки мелкие, плохо развитые (рис. 39).



Рисунок 39 – «Белые ростки» на кукурузе при Zn-дефиците. Между жилками – хлороз, междоузлия короткие, рост задержан (W. Bergmann, 1983)

У *картофеля* на верхних листьях появляется серовато-бурый, бронзовый оттенок. Доли листьев узкие, свернуты вовнутрь. Рост заторможен. Клубни мелкие.

У *томата* недостаток цинка особенно остро проявляется в защищенном грунте. Образуются мелкие, хлоротичные листья и мало плодов, которые мелкие и рано созревают.

Весьма чувствительны к недостатку цинка *плодовые культуры*: затормаживается рост побегов, на их верхних концах образуются розетки мелких, ивообразных листьев («розеточность»). У основания пораженных ветвей появляются новые, недолговечные побеги с крапчатыми листьями. Крона становится редкой из-за плохого ветвления. Плоды мелкие, приобретают уродливую форму и ненормальную окраску.

Влияние дефицита цинка на рост растений связано с тем, что этот элемент усиливает синтез ауксина – фитогормона, физиологическое действие которого проявляется в стимуляции растяжения клеток. Под влиянием ауксина клеточная оболочка разрыхляется и увеличивается ее пластичность и способность к растяжению. Рост клеток путем растяжения, в свою очередь,

отвечает за увеличение площади листовых пластинок, длины осевых органов (стеблей, междоузлий, черешков листьев).

Диагностические признаки недостатка марганца. Дефицит марганца обостряется на известкованных почвах. Он проявляется в виде задержки роста (но точки роста не отмирают), на вторых сверху листьях отмечается желтый хлороз между жилками. Листья имеют светло-зеленую, бело-зеленую, красную или серую окраску («серая пятнистость», «белый вилт»). Хлороз листьев связан с тем, что марганец стабилизирует структуру хлоропластов, в отсутствие марганца хлорофилл на свету быстро разрушается.

У *столовой свеклы* листья темно-красные. Пораженные участки буреют и отмирают (рис. 40).



Рисунок 40 – Признаки Mn-дефицита на столовой свекле (W. Bergmann, 1983)

Плодовые культуры, кроме хлороза между жилками листа, имеют слабую облиственность, ранний листопад.

Избыток марганца наиболее часто встречается на кислых почвах (рН_{KCl} 4,1–4,3). Нижние листья приобретают чашеобразную форму с «обожженными» краями. Между жилками листа – крапчатость.

На нижней стороне листьев *картофеля* на жилках и черешках бурые точки.

Следует отметить, что визуальная диагностика – дело непростое и требует большого навыка и опыта, так как внешние признаки голодания и

избыточного питания проявляются по-разному, в зависимости от вида и даже сорта растения. Кроме того, в производственных условиях иногда признаки достаточно четко не проявляются, и часто может иметь место голодание не одним, а двумя или более элементами. Признаки голодания одним элементом могут совпадать с признаками избытка другого элемента. Наиболее правильное заключение можно сделать, сочетая визуальную диагностику с химической диагностикой и другими методами.

Внешние признаки нарушения условий питания наблюдаются тогда, когда в метаболизме растений произошли глубокие изменения и уже невозможно полностью ликвидировать их последствия.

Морфо-биометрическая диагностика дает ответ на вопрос как формируется урожай и является одним из важных методов растительной диагностики. Она основана на учетах прироста массы растений, числа и темпов образования новых органов, их соотношения, структуры урожая.

Результаты морфо-биометрической диагностики важны при анализе данных химической диагностики, так как существует зависимость концентрации элементов питания в растении от его массы, так называемое «разбавление массой».

2.3.2 ХИМИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

Используя химические методы диагностики, можно своевременно и гораздо раньше появления внешних признаков обнаружить недостаток элементов питания. Химический анализ растений с целью контроля их питания впервые стал использовать советский физиолог Д.А. Сабинин, разработавший метод пасоки.

Для анализа используют целые растения или так называемые индикаторные органы, т.е. те части растений, которые наиболее сильно изменяют содержание питательных элементов при изменении условий питания.

Например, при недостатке азота, фосфора, калия, магния вегетативные органы будут обедняться сильнее, чем репродуктивные. Старые листья – сильнее, чем молодые. Поэтому индикаторными органами обычно бывают взрослые листья, нижние части стеблей.

В отношении остальных питательных элементов рекомендуется анализировать молодые листья, так как эти элементы не реутилизируются и молодые органы сильнее испытывают их недостаток.

Необходимо придерживаться трех основных правил химической диагностики питания растений:

первое – одновременно с определением содержания минеральных веществ в растениях надо знать и прирост биомассы, что дает возможность уточнить, какие факторы – питание или разбавление массой оказали влияние на концентрацию питательных элементов, то есть, речь идет о сопоставлении химической диагностики с морфо-биометрической, дающей ответ на вопрос, как формируется урожай;

второе – при диагностике необходимо определение не менее трех элементов питания (не только их концентрации, но и соотношения в растении), что позволяет объективнее судить об уровне питания и принять более правильное решение, так как, например, избыток одного элемента может быть вызван недостатком другого, вызвавшего нарушение синтетических процессов;

третье – данные растительной диагностики целесообразно сопоставлять с погодными условиями, свойствами почвы (*почвенная диагностика*), агротехникой и другими факторами.

Контролировать питание следует систематически, несколько раз за вегетационный период, по фазам онтогенеза, во время которых условия питания во многом определяют будущий урожай. Вопросами диагностики питания растений, занимаются государственные станции агрохимической службы.

Химическую диагностику подразделяют на *листовую, тканевую и функциональную* диагностику.

При *листовой* диагностике определяют общее (валовое) содержание того или иного питательного элемента после озоления (сухого или мокрого) растительных проб (листьев, либо всей надземной части). Этот метод был предложен французскими учеными Г. Лагатю и Л. Момом (1926 г.) и в дальнейшем получил развитие в работах Г. Люндегорда (1945 г.). Сейчас этот метод широко используется в нашей стране и за рубежом/

Для проведения листовой диагностики используют инструментальные методы: Эмиссионный спектральный, атомно-абсорбционный, активационный, метод инфракрасной спектроскопии, рентгенофлуоресцентный. Они позволяют одновременно определять несколько химических элементов.

При *тканевой* диагностике определяют содержание минеральных форм питательных элементов в свежих пробах растений без озоления, используя срезы, выжатый сок, пасоку или вытяжки из индикаторных органов, богатых сосудисто-проводящими тканями (стебли, черешки, главные жилки листьев). В этом методе используется свойство ионов давать с определенными реактивами цветные растворы или осадки. Например, определение нитратов основано на реакции с дифениламином (синяя окраска) или с реактивом Брея в присутствии буфера (красная окраска). Определение фосфатов – на реакции с молибденовой кислотой, приводящей к образованию фосфорно-молибденового комплекса желтого цвета, который в присутствии восстановителя приобретает синий цвет; калия – на образовании оранжево-красного осадка дипикриламмината калия при взаимодействии сока растений с дипикриламминатом магния в кислой среде.

Основное преимущество этого метода – быстрота и простота выполнения (более 100 анализов в день), что позволяет проводить массовые анализы прямо в поле.

Существуют портативные полевые лаборатории, содержащие все необходимые для анализа реактивы и приспособления.

А.С. Плешковым и Б.А. Ягодиным (1982 г.) разработан метод *функциональной* диагностики питания растений, основанный на определении фотохимической активности хлоропластов. Этот метод позволяет оценить не

содержание того или иного элемента питания, а потребность растения в нем. Проводится измерение фотохимической активности суспензии хлоропластов, полученной из средней пробы листьев диагностируемых растений, затем к ней добавляется раствор, содержащий испытуемый элемент питания и активность хлоропластов измеряется повторно. Если она повысилась по сравнению с контролем (без добавления испытуемого элемента), делается заключение о его недостатке в питании растений, при снижении – об избытке, при одинаковой активности – об оптимальной концентрации в питательной среде.

Метод функциональной диагностики позволяет в течение одного часа определить потребность растений в 14 макро- и микроэлементах питания и дать рекомендации по проведению корневых и некорневых подкормок.

Портативная лаборатория для функциональной диагностики приведен на рисунке 41.



Рисунок 41 – Портативная лаборатория листовой диагностики

Составление диагностического заключения. Результаты химической диагностики могут быть использованы в двух целях:

1 – для решения вопроса о необходимости подкормки растений с целью повышения их урожайности или качества в текущем году;

2 – для уточнения системы удобрения под урожай следующего года.

При оценке результатов анализа следует иметь в виду, что с возрастом растений содержание минеральных форм питательных элементов в них падает, особенно сильно – нитратов.

Для составления диагностического заключения *необходимо результаты анализов сопоставить с оптимальным содержанием питательных веществ* в растении или его органах в данной фазе развития, учитывая при этом внешний вид растений и их массу. Например, если в фазе 3-х листьев в озимой ржи содержится 46–80 мг N-NO₃ на 1 кг сырого вещества, то растение испытывает голод. В это время должно содержаться 160–300 мг/кг N-NO₃. Для озимой пшеницы в период колошения оптимальным считают содержание в листьях азота – 3,5–4,5 %, фосфора – 0,4–0,5 %, калия – 2,8–3,4 % в расчете на сухое вещество. Если содержание азота ниже – для получения сильной пшеницы необходима некорневая подкормка (табл. 11).

Таблица 11 – Определение необходимости подкормки озимой пшеницы по содержанию в листьях азота

Содержание общего азота в листьях, %	Целесообразность подкормки
Менее 2,5	Подкормка нецелесообразна, получить высококачественное зерно невозможно
2,5–3,5	Подкормка необходима
Более 3,5	Подкормка не нужна, можно получить высококачественное зерно без нее

При составлении диагностического заключения обращают внимание на *соотношение питательных элементов* в растении или индикаторном органе: оно будет благоприятным, если все элементы содержатся в близких к оптимальным концентрациям. При этом можно пользоваться графическим способом отображения данных, предложенным Прево и Олландье (рис. 42).

Метод основан на построении вписанных многоугольников (число углов равно числу анализируемых элементов) в окружность, радиус которой принят соответствующим оптимальному содержанию всех элементов.

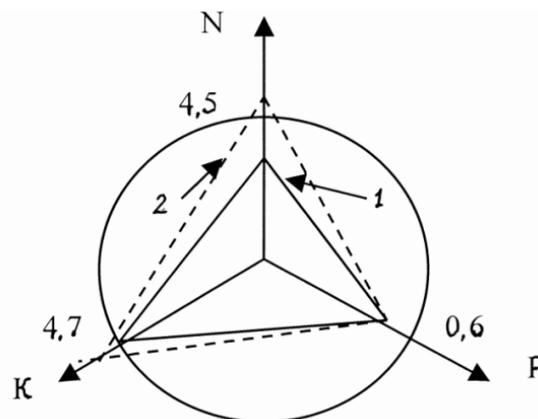


Рисунок 42 – Графическое изображение результатов химической диагностики питания озимой ржи (фаза кущения) (1 – без удобрения; 2 – после подкормки азотом)

Из рисунка 40 видно, что растения были достаточно обеспечены калием, но им не хватало азота и фосфора. Проведение подкормки азотом подтвердил этот вывод, но растения по-прежнему испытывали недостаток фосфора.

По данным Ставропольского НИИСХ в фазе выхода в трубку у интенсивных сортов пшеницы среднее содержание азота 4,82%, фосфора 0,96% и соотношение $N:P_2O_5=5$ можно считать оптимальным (табл.12). При содержании азота на уровне оптимального, но при недостатке фосфора, когда отношение $N:P_2O_5 > 5$, посевам требуется подкормка фосфорными удобрениями. В случае недостатка азота на фоне оптимального содержания фосфора ($N:P_2O_5 < 5$) эффективной будет, прежде всего, азотная подкормка. Содержание указанных элементов ниже критического указывает на необходимость подкормки комплексным удобрением.

Таблица 12 – Оптимальное содержание и соотношение азота и фосфора в листьях озимой пшеницы на четвертом этапе органогенеза

Показатель	Содержание азота и фосфора, % абсолютно-сухой массы	
	интервал	в среднем
N	4,55–5,20	4,82
P ₂ O ₅	0,83–1,10	0,96
N : P ₂ O ₅	5,4–4,7	5

Решение о целесообразности подкормок азотом и дозах удобрений рекомендуется принимать, исходя из данных, представленных в таблице 13.

Таблица 13 – Эффективность азотных подкормок по данным листовой диагностики (В.Ф. Гаркуша, Л.Н. Петрова, 2000)

Содержание азота, % абсолютно сухой массы	Нуждаемость в подкормках	Вероятность получения сильного зерна	Доза азотной подкормки, кг/га д.в.
Менее 3,5	Очень сильная	Очень низкая	Не проводится
3,5–3,7	Сильная	Возможно при оптимальном содержании фосфора	N ₃₀ в фазе колошения + N ₃₀ при наливе зерна
3,8–4	Средняя	Будет получено при оптимальном содержании фосфора	N ₃₀ в период колошения-налива зерна
Более 4	Слабая	Будет получено при оптимуме фосфора	Подкормка не проводится

При составлении диагностического заключения необходимо сопоставление данных химической диагностики с ростом и развитием растений, так как между концентрацией питательного элемента и растительной массой есть определенная зависимость (рис. 43).



Рисунок 43 – Зависимость между химическим составом растений и массой урожая (по В.В. Церлинг, 1990 г.):

1 – питание достаточное, масса ограничена другими факторами; 2 – условия питания улучшены: масса растет, питание снижается; 3 – острое голодание: масса низкая, мало питательных веществ; 4 – скрытое голодание: масса несколько выше, питания не хватает; 5 – масса повышается с улучшением питания; 5a – оптимум питания и урожая; 6 – «роскошное питание»: масса не растет, концентрация веществ повышается; 7 – токсичное питание: масса уменьшается, концентрация веществ увеличивается.

Одно и то же содержание питательного элемента в растении может иметь совершенно разное физиологическое и агрохимическое значение. Оптимальное

содержание питательного элемента может соответствовать оптимальному накоплению массы и может сочетаться с его подавлением. При сопоставлении массы и внешнего вида растений с содержанием в них питательных элементов можно сделать вывод о необходимости подкормки.

Подкормку чаще всего проводят азотными удобрениями. Запланированную дозу азота уточняют по данным растительной диагностики. Так, например, оптимальное содержание азота в сухом веществе листьев озимой пшеницы в фазе выхода в трубку составляет 3,9–4,5%.

Уточнение подкормочной дозы азота проводят по формуле:

$$D_N = D'_N \frac{N_{\text{опт}}}{N_{\text{факт}}},$$

где D_N - уточненная доза азота для подкормки, кг/га; D'_N - уточняемая (рекомендуемая) доза азота, кг/га; $N_{\text{опт}}$ - оптимальное содержание азота в листьях, %, $N_{\text{факт}}$ - фактическое содержание азота в листьях, %.

При отклонениях содержания фосфора и калия в растениях от оптимальных значений уточнение дозы азота проводят по формуле:

$$D_N = D'_N \frac{N_{\text{опт}} \times P_{\text{факт}} \times K_{\text{факт}}}{N_{\text{факт}} \times P_{\text{опт}} \times K_{\text{опт}}},$$

где D_N - уточненная доза азота для подкормки, кг/га; D'_N - (рекомендуемая) доза азота, кг/га; $N_{\text{опт}}, P_{\text{опт}}, K_{\text{опт}}$ - оптимальное содержание азота, фосфора и калия в листьях, %; $N_{\text{факт}}, P_{\text{факт}}, K_{\text{факт}}$ - фактическое содержание азота, фосфора и калия в листьях, %.

Корректировка подкормочных доз азотных удобрений, позволяет экономнее их расходовать.

2.3.3 ДИСТАНЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА

В настоящее время широкое распространение получил метод дистанционного мониторинга посевов. Он основан на принципе установления качественных и количественных характеристик энергии, отражаемой или излучаемой всеми наземными объектами. Эта энергия регистрируется при помощи летательных аппаратов и передается в виде фотоизображения, электро-

или радиосигналов. Дистанционную диагностику можно проводить путем спектрометрирования, аэрофотосъемки, тепловой съемки, микроволновой съемки с использованием оптических приборов, многозональных фотоаппаратов, телекамер, многоспектральных датчиков, термодатчиков и другой аппаратуры.

Для дистанционного мониторинга могут использоваться:

- наземные датчики, расположенные на неподвижных опорах или на транспортных средствах;
- беспилотные летательные аппараты – дроны;
- искусственные спутники Земли.

Результаты зондирования выражаются в виде вегетационных индексов, которых в настоящее время насчитывается более 200. Они позволяют оценить содержание хлорофилла в растениях, площадь листовой поверхности, структуру и плотность растительного покрова, оценить минерального питания растений и др.

2.3.4 СУБМИКРОПОЛЕВОЙ МЕТОД (МЕТОД ИНЪЕКЦИИ И ОПРЫСКИВАНИЯ)

Метод основан на положении, что элемент, поступивший через лист, быстрее оказывает действие на растение, чем поступивший через корневую систему. Этот метод разработан Беннетом (США, 1931 г.) и Роучем (Англия, 1939 г.). Он с успехом может быть использован для диагностики питания растений не только макро-, но и микроэлементами.

Суть его заключается в том, что слабым раствором соли, содержащим определенный питательный элемент, недостаток которого подозревается, проводится некорневая подкормка опрыскиванием (или инъекцией в ствол, стебель, ветвь, жилку листа). Через 3–15 дней проводят повторные наблюдения. Если нанесенный элемент был в дефиците, то растение проявляет признаки выздоровления: улучшается тургор листьев, окраска приближается к

нормальной, усиливается рост и др. В противном случае состояние растений ухудшается или даже появляются признаки токсичности.

Диагностику этим методом проводят непосредственно в посевах, посадках утром или вечером, чтобы избежать быстрого высушивания солнцем или ожога.

В целом, анализ состояния и химического состава растений позволяет выявить не только уровень обеспеченности растений питательными элементами, но и характер агрогенного и техногенного загрязнения продукции и наметить пути их ликвидации. С помощью методов диагностики минерального питания растений можно контролировать и прогнозировать формирование урожая и его качества.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите задачи и методы растительной диагностики питания. Перечислите правила растительной диагностики.
2. Что такое индикаторные органы?
3. Что понимают под визуальной диагностикой питания? Назовите визуальные признаки недостатка питания растений азотом, фосфором и калием? Какие физиологические механизмы лежат в основе появления этих признаков?
4. Назовите внешние признаки нарушения питания растений бором, молибденом.
5. С помощью какой диагностики можно раньше установить нарушение питания растений?
6. Чем отличается листовая диагностика от тканевой?
7. Как составляется диагностическое заключение?

2.4 ПРИЕМЫ, СРОКИ И СПОСОБЫ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

По времени внесения и назначению приемы внесения удобрений делят на основное или допосевное (осенью или весной), при посеве (в рядки) и подкормки (послепосевное внесение).

Основное внесение (допосевное). Его назначение – обеспечение растения питанием на весь период роста и развития, повышение плодородия почвы (за счет обогащения ее питательными элементами и органическим веществом, улучшения физико-химических и физических свойств, усиления биологической активности). До посева вносят навоз, а также $2/3$ – $3/4$ и более суммарной годовой дозы минеральных удобрений.

Основное удобрение можно внести вразброс (на один год или в запас на два–три года), а также локально. На рисунке 44 приведена классификация способов внесения удобрений.

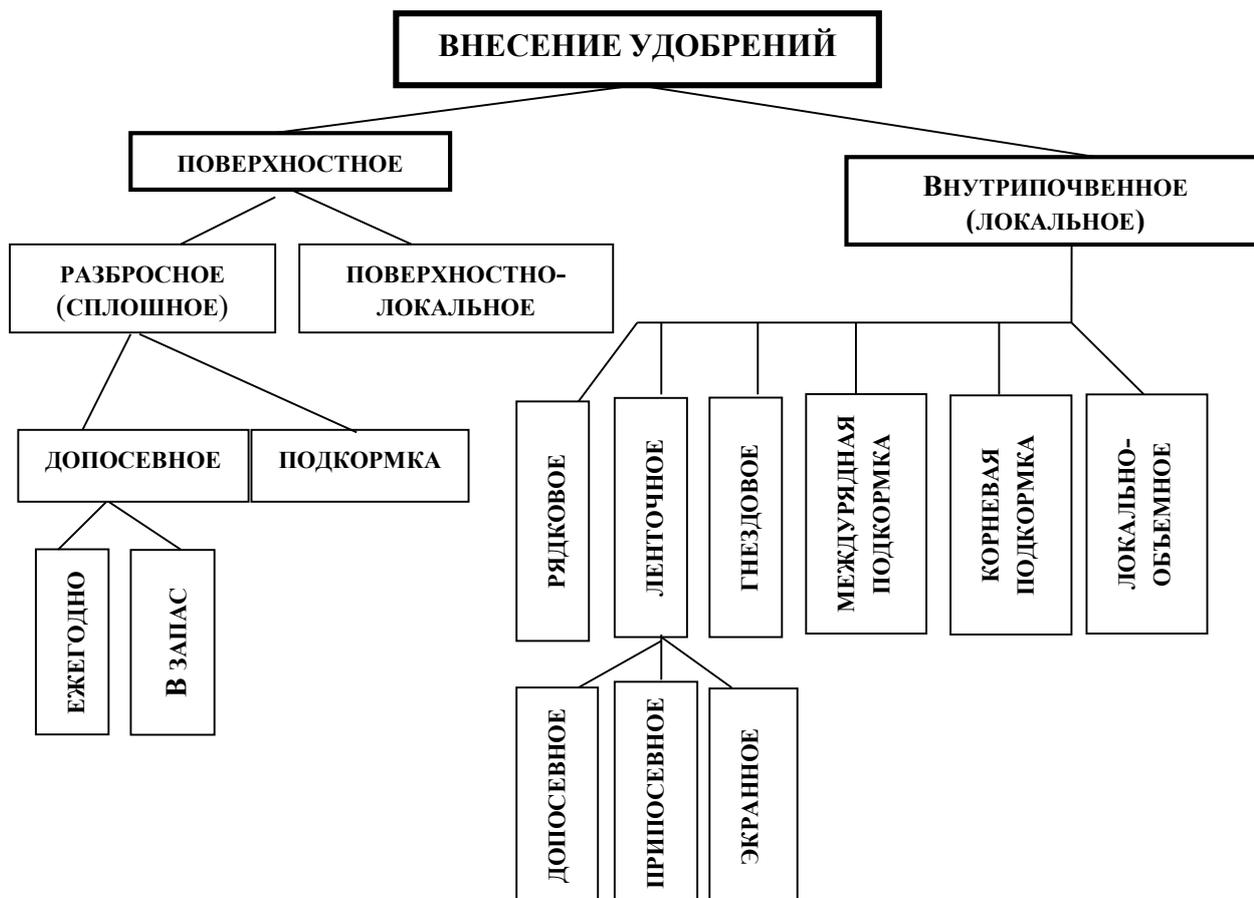


Рисунок 44 – Классификация способов внесения удобрений

Внесение вразброс предусматривает разбрасывание удобрений по поверхности почвы с последующей их заделкой. Это наиболее распространенный, но не самый экономичный способ.

Удобрения до посева могут быть внесены осенью и весной в зависимости от режима увлажнения почв:

– в районах умеренного увлажнения с непромывным типом водного режима на суглинистых почвах все удобрения, включая азотные, можно вносить осенью;

– в районах избыточного увлажнения с промывным типом водного режима азотные удобрения не рекомендуется вносить осенью, особенно содержащие нитратную форму;

– на легких почвах, особенно в районах избыточного увлажнения, все удобрения следует вносить весной под предпосевную обработку почвы.

Органические и фосфорно-калийные удобрения, как правило, вносят осенью под зяблевую вспашку в обеспеченный влагой слой почвы, где развивается основная масса деятельных корней. Азотные удобрения до посева в зонах достаточного, избыточного увлажнения и при орошении, особенно на почвах легкого гранулометрического состава, следует вносить весной под предпосевную обработку почвы. Это заметно снижает размеры вымывания нитратного азота. На почвах легкого гранулометрического состава, обладающих низкой емкостью поглощения, вместе с азотными удобрениями целесообразно вносить калийные, а при выращивании пропашных культур часть калийных удобрений можно использовать в подкормку при междурядной обработке почвы.

Недостатком разбросного применения удобрений является неравномерность распределения их по площади, которая по агротехническим требованиям при использовании разбрасывателей не должна превышать $\pm 25\%$ (табл. 14).

В производственных условиях неравномерность внесения нередко достигает 60–80%, т.е. превышает допустимую в 2–3 раза, что приводит к

снижению эффективности азотных удобрений на 45–50%, фосфорных – на 15–20, калийных и сложных – на 36–40%.

Таблица 14 – Агротехнические требования к внесению удобрений

Показатель		Значение
Диаметр комочков удобрений, мм		не более 5
Разрушение гранул, %		не более 5
Отклонение фактической дозы от заданной, %		± 10
Равномерность распределения по площади, %	при внесении туковыми сеялками	± 15
	при внесении разбрасывателями	± 25
Перекрытие смежных проходов агрегата, % от ширины захвата агрегата		6
Время между внесением и заделкой удобрений, час.		не более 12

Заделка удобрений может осуществляться под плуг, а также под культивацию или с использованием других приспособлений, например, борон. От выбора способа заделки удобрений зависит размещение удобрений в почве (табл. 15).

При заделке удобрений бороной основная масса удобрений размещается в пересыхающем слое. Этот способ можно использовать при достаточном увлажнении, орошении, внесении легкорастворимых удобрений. При заделке плугом с предплужником основная масса удобрений попадает в глубокие слои и поздно усваивается растениями.

Таблица 15 – Размещение удобрений в почве при разных способах заделки
(% от внесенной дозы, по обобщенным данным)

Слой почвы, см	Заделка удобрений				
	легкой бороной	тяжелой бороной	тяжелым культиватором	плугом	плугом с предплужником
0–3	92	76	55	11	3
3–6	8	22	21	12	4
6–9	-	2	23	16	12
9–12	-	-	1	16	14
12–15	-	-	-	23	20
15–18	-	-	-	22	47

Разновидностью разбросного внесения основной дозы является внесение ее *в запас*. Суть его заключается в том, что удобрения вносят не ежегодно

(например, по 60 кг/га P_2O_5), а в один прием на несколько лет (например, 240 кг/га P_2O_5 на четыре года). Для этих целей можно использовать фосфорные, иногда калийные удобрения.

Теоретической основой возможности запасного внесения фосфорных удобрений является их малая подвижность в почве, низкий коэффициент использования фосфора из удобрений и высокое последствие.

Калийные удобрения можно вносить в запас на тяжелых почвах, где практически отсутствует его вымывание. Однако разовое внесение высоких доз может способствовать повышению содержания калия в продукции (например, содержание K_2O в сухой траве свыше 3,5% может отрицательно действовать на организм животных). Кроме того, высокие дозы хлорсодержащих калийных удобрений в первые годы после внесения могут снизить качество урожая.

Азотные удобрения в запас не вносят, так как они могут вызвать полегание посевов, усиление поражения растений вредителями и болезнями, ухудшение качества продукции вследствие накопления в ней нитратов, потери азота за счет вымывания и поверхностного смыва.

Внесение удобрений в запас не получило широкого распространения по ряду причин, основной из которых является ограниченность ресурсов удобрений. Тем не менее, оно используется при выращивании многолетних трав в полевых севооборотах, при коренном улучшении лугов и пастбищ, при проведении фосфоритования кислых почв, при комплексном агрохимическом окультуривании полей с целью увеличения содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах, снижения их кислотности, при выращивании многолетних плодово-ягодных культур.

Локальное внесение основной дозы удобрений является одним из наиболее рациональных способов, о чем свидетельствуют результаты научных исследований, зарубежная практика, отечественный производственный опыт.

Теоретической основой локализации удобрений является теория минерального питания растений и взаимодействия удобрений с почвой.

Локальный способ обеспечивает размещение удобрений в виде узких или широких лент, очагов или широкого экрана во влажном слое почвы строго ориентированно относительно корневой системы растений или поверхности почвы. В результате в небольшом объеме почвы формируется очаг высокого содержания питательных элементов. Удобрения в меньшей мере, чем при разбросном способе внесения, контактируют с почвой, что обеспечивает более полное использование питательных веществ растениями, снижает степень закрепления их почвой, уменьшает потери и способствует повышению урожайности.

Формирование в почве очагов с высоким содержанием питательных элементов приводит к усиленному ветвлению корней в зоне расположения ленты удобрений. Еще К.А. Тимирязев отмечал *«...замечательную особенность корня развиваться преимущественно в тех частях почвы, где он встречает больше питательных веществ»*. У растений раньше появляются и быстрее развиваются вторичные корни, что очень важно в засушливые годы, и они глубже проникают в почву.

Как правило, коэффициент использования питательных элементов растениями из удобрений, внесенных локально, выше, чем использованных вразброс, а фиксация фосфора почвой – ниже. Локальный способ внесения удобрений – наиболее экономичный: он позволяет при уменьшении доз удобрений на 20–30% получать такие же урожаи, как от полных доз, внесенных вразброс. При одинаковых дозах удобрений локализация позволяет дополнительно получить 0,2–0,5 т/га зерна, 2–5 – картофеля и корнеплодов, 2–4 – кормовых и силосных культур, 0,2–0,3 т/га – семян подсолнечника, сои (табл. 16). При локальном внесении удобрений лучше решаются и природоохранные вопросы. Локально можно внести основное, припосевное удобрение и подкормку.

При локальном внесении основной дозы удобрения размещаются на определенной глубине (от 8–10 до 12–15 см), ниже семян, в зоне развития

корневой системы. Это гарантирует их более продолжительную позиционную доступность растениям.

Таблица 16 – Эффективность разбросного и локального внесения удобрений
(по данным разных авторов)

Культура	Почва	Число опытов	Урожайность без удобрений, т/га	Прибавка от удобрений (т/га) при внесении	
				вразброс	локально
Зерновые	Дерново-подзолистая суглинистая	18	1,7	1,1	1,7
Картофель	Дерново-подзолистая суглинистая	100	12,9	3,2	6,2
Кукуруза на зерно	Чернозем	3	2,8	0,4	0,5
Сахарная свекла	Чернозем	10	29,2	6,6	9,5
Сахарная свекла	Лугово-сероземная	4	34,5	10,0	16,0
Соя на зерно	Лугово-каштановая	3	2,5	0,4	0,6

Локальное внесение основной дозы удобрений можно осуществить *до посева*, совмещая с паровой или предпосевной обработкой почвы, и *при посеве*.

Сдерживающим фактором в применении локального способа внесения основной дозы удобрения является слабая обеспеченность соответствующей техникой.

При допосевном локальном внесении удобрений посев проводят под углом к направлению высева семян, а при припосевном – удобрения размещаются в каждом междурядье или через одно, а также сбоку или ниже семян (рис. 45).

В зарубежной практике чаще используют припосевное ленточное внесение основной дозы удобрений комбинированными посевными и посадочными машинами. Этот прием позволяет строго ориентировать ленты удобрений относительно рядков растений и располагать их на оптимальном расстоянии от семян.

удобрений от семян, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении одинаково не желательно.

По данным ВИУА в Нечерноземной зоне показало, что под зерновые культуры и лен оптимальной считается размещение лент удобрений на суглинистых почвах на глубине 7–10 см, на супесчаных и песчаных – на 10–12 см. Под сахарную свеклу, кукурузу и кормовые корнеплоды удобрения следует вносить на глубину 10–15 см. Под картофель при высоких дозах оптимальным является размещение удобрений двумя лентами шириной 2–4 см по обе стороны от клубней глубже на 2–5 см или одной лентой шириной 5–10 см ниже клубней на 2–5 см.

Параметры ленточного внесения удобрений под зерновые и картофель приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Параметры ленточного внесения минеральных удобрений

Культуры	До посева			При посеве (посадке)		
	глубина размещения ленты, см	ширина ленты, см	интервал между центрами лент, см	глубина размещения ленты, см	ширина ленты, см	интервал между центрами лент, см
Зерновые	7–10	2–6	15–17	7–10	2–6	30 (через междурядье)
Картофель	на 2–5 см ниже клубней	5	25–30	на 2–5 см ниже клубней	5–10	лента под рядком клубней

Ленты удобрений не должны контактировать с семенами из-за опасности их повреждения высокой концентрацией солей. При внесении основной дозы удобрений при посеве они должны находиться на 3–5 см ниже семян и на 2–4 см в стороне от них.

Ленточное внесение удобрений одновременно с посевом (посадкой) является предпочтительным, так как обеспечивает фиксированное размещение удобрений относительно растений и равномерное их распределение. Установлено, что в засушливые годы наиболее сильно локализация удобрений

проявляется на суглинистых и глинистых почвах, слабо – на супесчаных и еще слабее – на песчаных почвах.

По данным БГСХА эффективность ленточного внесения удобрений снижается с повышением уровня плодородия почвы, но даже на фоне высокого плодородия она остается достоверно выше, чем разбросного внесения.

Локализация удобрений требует более точного их дозирования, исключая превышение оптимальной дозы, и соблюдения технологии внесения. Неравномерность распределения удобрений не должна превышать $\pm 10\%$. Нарушение технологии локального внесения удобрений снижает урожайность более существенно, чем при разбросном внесении.

Отечественный и зарубежный опыт с достаточной убедительностью показывают, что дозы удобрений при локализации можно сократить на 30–50% по сравнению с разбросным способом.

По снижению отзывчивости на локализацию удобрений сельскохозяйственные культуры располагаются в следующем порядке: картофель – корнеплоды – зерновые; среди зерновых: ячмень – озимая и яровая пшеница – овес – озимая рожь. Эффективность ленточного внесения зависит от сортовых особенностей сельскохозяйственных культур. Более требовательные к условиям питания сорта лучше отзываются на ленточное внесение удобрений.

А.В. Петербургский (1975) отмечал: «... в условиях еще недостаточной обеспеченности страны минеральными удобрениями задача состоит в том, чтобы каждый килограмм питательных веществ дал максимальный эффект. А это возможно только при локальном использовании удобрений».

Припосевное (рядковое) внесение стартовой дозы удобрений – это всегда локальное внесение. Назначение припосевного удобрения – усилить минеральное питание молодых растений и за короткий промежуток времени обеспечить формирование хорошо развитой корневой системы. Наиболее важным в этот период является фосфор (табл. 17). Недостаток его в начальные фазы развития растений невозможно восполнить проведением подкормок, так как именно в это время идет закладка репродуктивных органов, а также из-за

специфики поведения фосфорных удобрений в почве (отсутствие горизонтальной и вертикальной миграции).

Благодаря рядковому удобрению растения быстрее развиваются и легче переносят временную засуху, меньше поражаются вредителями и болезнями, лучше подавляют сорную растительность.

Таблица 17 – Питание фосфором и урожай ячменя, г/сосуд

Дни от посева		Солома	Зерно
Фосфор все время		26,1	6,4
Без фосфора	первые 15 дней	4,5	0,0
	от 15 до 30 дня	25,4	6,7
	от 30 до 45 дня	28,0	5,7
	от 45 до 60 дня	26,6	6,6

Значительно меньшую роль в рядковом удобрении играет азот, а калий часто не дает эффекта (кроме калиелюбивых культур) и даже может несколько снизить урожай, особенно мелкосемянных культур.

Дозы припосевного удобрения небольшие – 5 до 30 кг/га в зависимости от культуры. Под зерновые, лен рекомендуется вносить 10–15 кг/га фосфора; под картофель и корнеплоды – по 20–30 кг/га азота, фосфора и калия; под кукурузу, культуру чувствительную к повышенной концентрации солей – 5–10 кг/га фосфора, а азот и калий – не вносят. Доза азота при рядковом внесении не должна быть выше, чем фосфора.

Невысокие дозы удобрений обусловлены тем, что, во-первых, они размещаются в верхнем, пересыхающем слое почвы, во-вторых, питание ими идет непродолжительно, так как корни растений быстро покидают зону их размещения, в-третьих, высокие концентрации солей в почве вредны для прорастающих семян. Последнее обстоятельство объясняет наилучший эффект от рядкового удобрения, когда между ним и семенами находится прослойка почвы. Это особенно важно, если в состав рядкового удобрения вместе с фосфором входит азот и калий.

Наиболее устойчивый эффект от рядкового удобрения отмечается на почвах невысокого плодородия. Прибавка урожая от 10 кг/га фосфора

составляет 2,5–3 ц/га в пересчете на зерно, оплата 1 ц суперфосфата урожаем колеблется от 0,4 до 0,58 т/га (табл. 18). По эффективности 10 кг/га фосфора, внесенного при посеве (в рядки), равноценно 45 кг, внесенным вразброс.

Для внесения в рядки при посеве используют водорастворимые формы удобрений, содержащие, прежде всего, фосфор: гранулированный простой и двойной суперфосфаты и комплексные удобрения (аммофос, аммофосфат, нитрофоску, нитрофос, нитроаммофоску, нитроаммофос). На высокоплодородных почвах, а также при внесении высоких доз удобрений до посева, эффективность рядкового удобрения невысокая или может вовсе не проявляться.

Таблица 18 – Эффективность рядкового удобрения в разных почвенно-климатических зонах (данные ВИУА)

Культуры	Почвы	Число опытов	Урожайность на контроле, т/га	Прибавка урожая, т/га	Оплата 1 ц суперфосфата прибавкой урожая зерна, т
Озимые зерновые	Дерново-подзолистые	52	2,05	0,34	0,58
	Черноземы, серые лесные и каштановые	117	2,22	0,28	0,56
Яровая пшеница	Дерново-подзолистые	29	1,62	0,30	0,60
	Черноземы, серые лесные и каштановые	60	1,58	0,20	0,40

Подкормка (послепосевное внесение удобрений) – прием, дополняющий основное удобрение. Целью подкормки является усиление питания растений в периоды интенсивного роста, повышение урожайности и улучшение качества продукции.

Эффективность подкормок в сильной степени зависит от влажности почвы в течение вегетации. На почвах тяжелого и среднего гранулометрического состава с залеганием грунтовых вод и галечника глубже 3 м, где мала вероятность вымывания питательных веществ, перенесение из

основного удобрения в подкормку части азотных, не говоря уже о калийных и фосфорных удобрениях, не сопровождается повышением урожая. Но при этом повышаются расходы на их внесение.

В условиях дерново-подзолистых почв наиболее эффективна подкормка озимых зерновых рано весной. После перезимовки растения ослаблены, для продолжения роста и развития они нуждаются в питательных элементах, особенно азоте, запасы подвижных форм которого в почве рано весной обычно очень ограничены. Эта подкормка усиливает рост, кущение и закладку репродуктивных органов озимых, что обеспечивает получение высокого урожая и создает условия для формирования высококачественного зерна.

Подкормки бывают корневыми (поверхностными и внутрипочвенными) и некорневыми. Для корневых подкормок следует использовать азотные удобрения, а также богатые азотом органические удобрения (навозную жижу, птичий помет). Фосфорно-калийные удобрения чаще всего малоэффективны из-за мелкой заделки. Их следует вносить только на почвах с низким содержанием подвижных форм фосфора и калия, а также при недостаточном внесении удобрений до посева.

Хорошие результаты дают некорневые подкормки озимых и яровых зерновых культур растворами азотных удобрений (КАС, мочевины) с целью повышения содержания белка в зерне. Эта подкормка проводится в период колошения–цветения с использованием авиации или наземных опрыскивателей. Некорневая подкормка повышает эффективность удобрений, внесенных в почву. Дозы удобрений для внесения в подкормку уточняют по результатам почвенной и растительной диагностики.

Ориентировочные дозы подкормки озимых зерновых – 30–60 кг/га азота (но не более 80), льна – 20–40, картофеля – по 30–40 кг/га азота и калия, кукурузы – 40 кг/га азота, многолетних трав – 20–40 кг/га азота. Если до посева многолетних трав под покровную культуру было мало внесено удобрений, то рекомендуется после ее уборки подкормить травы фосфорными и калийными удобрениями (по 40–60 кг/га P_2O_5 и K_2O).

Подкормки озимых зерновых можно проводить рано весной при возобновлении вегетации (продолжение фазы кущения), в начале фазы выхода в трубку и летом в период колошения – цветения. Кукурузу подкармливают при первой междурядной обработке, сахарную свеклу – после прорывки, картофель – через две недели после появления всходов, лен – в фазу «елочки».

Во всех случаях подкормка – вынужденный прием и она оправдывает себя при следующих обстоятельствах:

- если до посева удобрения не применяли или их было внесено недостаточно;

- при подкормке озимых зерновых для улучшения их роста и повышения урожайности, особенно после неблагоприятной перезимовки, а также летом для повышения качества зерна;

- в условиях орошения при частых поливах и длительном периоде вегетации культур;

- при высоких дозах минеральных удобрений;

- на почвах легкого гранулометрического состава в зонах достаточного и избыточного увлажнения;

- при подкормке многолетних трав в полевых севооборотах, когда всю дозу фосфорно-калийных удобрений не удалось внести под покровную культуру;

- при внесении под плодово-ягодные культуры и травы на долголетних культурных пастбищах.

В зависимости от биологических особенностей культур, общей дозы удобрений и других условий, возможны различные комбинации приемов внесения удобрений. При высоких дозах целесообразно сочетание всех трех приемов их внесения – допосевного, припосевного (в рядки) и подкормки. При этом удобрения размещаются в разных слоях почвы, что создает хорошие условия для питания растений в течение всего вегетационного периода.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем состоит назначение основного, припосевного (рядкового) и послепосевного удобрения?
2. Как распределяются удобрения в пахотном слое почвы при разбросном внесении с заделкой разными агрегатами?
3. Что такое запасное внесение удобрений? В каких случаях оно используется?
4. Приведите примеры локального внесения удобрений. В чем заключаются его преимущества?
5. На каких культурах, с какой целью и при каких условиях применяют подкормки? Назовите сроки их проведения и рекомендуемые дозы.
6. Какое удобрение чаще всего используют при проведении некорневой подкормки зерновых культур?
7. Перечислите агротехнические требования к внесению минеральных удобрений.

2.5 УДОБРЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

2.5.1 ОЗИМЫЕ ЗЕРНОВЫЕ

Наиболее распространенными озимыми зерновыми культурами являются пшеница и рожь.

Особенность ржи, обеспечивающая ее устойчивость к неблагоприятным условиям среды и меньшую требовательность к плодородию почвы – быстрый рост корневой системы. Уже ко времени появления всходов зародышевые корни достигают 13–14 см, а на 15–16-й день от начала прорастания семян корневая система распространяется во всей толще пахотного слоя. Зародышевые корни у озимой ржи функционируют на протяжении всего вегетационного периода. Рано образуются и узловые корни.

Рожь сильно кустится и развивает корневую систему осенью, быстро трогается в рост весной. Это позволяет ей интенсивно использовать влагу, накопившуюся в почве во время осенних дождей и весеннего таяния снега. Она хорошо растет на легких почвах и лучше переносит временные засушливые периоды, чем пшеница.

Озимая пшеница, как правило, возделывается на более плодородных и окультуренных почвах, чем озимая рожь. Это связано с ее биологическими особенностями: она имеет менее развитую корневую систему с более слабой усваивающей способностью корней, плохо растет на кислых почвах, хорошо развивается на почвах с близкой к нейтральной реакцией ($pH_{КСІ}$ 6–7). Пшеница менее способна усваивать питательные вещества из труднорастворимых соединений, чем рожь, хуже переносит низкие температуры и засуху. Она сильнее кустится весной, хотя процесс кущения зависит от погоды осенью и весной. Если осень сухая и холодная с ранними заморозками, то энергичное кущение происходит главным образом весной; при теплой и влажной осени фаза кущения у пшеницы проходит в значительной мере осенью.

Характерными особенностями питания озимой пшеницы являются высокая потребность в питательных элементах. В расчете на 1 т урожая зерна с соответствующим количеством соломы озимая пшеница выносит 32–37 кг азота, 10–12 – фосфора и 22–26 кг калия, у озимой ржи вынос азота заметно ниже, а калия – выше (22–26 кг N, 10–12 – P₂O₅ и 28–30 кг K₂O).

Поглощение питательных элементов озимыми зерновыми происходит неравномерно. К концу фазы кущения, когда сформировано всего 10% биомассы в растения поступает не менее 25–30% азота и фосфора и в среднем четверть калия от их выноса за весь вегетационный период. Азот и калий рожь усваивает до цветения, фосфор – до восковой спелости зерна. Озимая пшеница основное количество азота и фосфора потребляет до колошения, калия – до фазы выхода в трубку. К моменту цветения 90–95% азота, фосфора и калия от максимального содержания в урожае уже находится в растениях (табл. 19). С этой фазы увеличиваются темпы реутилизации питательных элементов, и ослабевает корневое питание.

Самые ответственные периоды в питании озимых зерновых культур – *от всходов до ухода в зиму и начало вегетации весной*. Для обеспечения успешной перезимовки необходимо усиленное фосфорно-калийное питание, чтобы растения хорошо укоренились, быстро тронулись в рост, в тканях накопилось значительное количество углеводов, понижающих точку замерзания клеточного сока и, следовательно, обеспечивающих устойчивость растений к низким температурам. Кроме того, достаточная обеспеченность растений калием обуславливает их большую устойчивость к полеганию.

Таблица 19 – Динамика накопления питательных элементов в растениях зерновых культур (% к максимальному)

Срок и фаза развития	Озимая пшеница			Ячмень			Овес		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Осенний и ранневесенний период	47	30	43	-	-	-	-	-	-
Начало колошения	69	65	68	71	56	73	51	36	54
Цветение	90	93	95	96	74	100	82	71	100
Полная спелость	100	100	82	100	100	64	100	100	83

Весной растения выходят из-под снега ослабленными. В почве содержится мало легкодоступных форм азота, так как еще холодно, она переувлажнена и в этих условиях нитрификация замедлена. Именно в это время отмечается наибольшая зависимость величины будущего урожая от уровня обеспеченности растений азотом.

Система удобрения озимых зерновых складывается из допосевного (основного), рядкового внесения удобрений и подкормок (рис. 46).

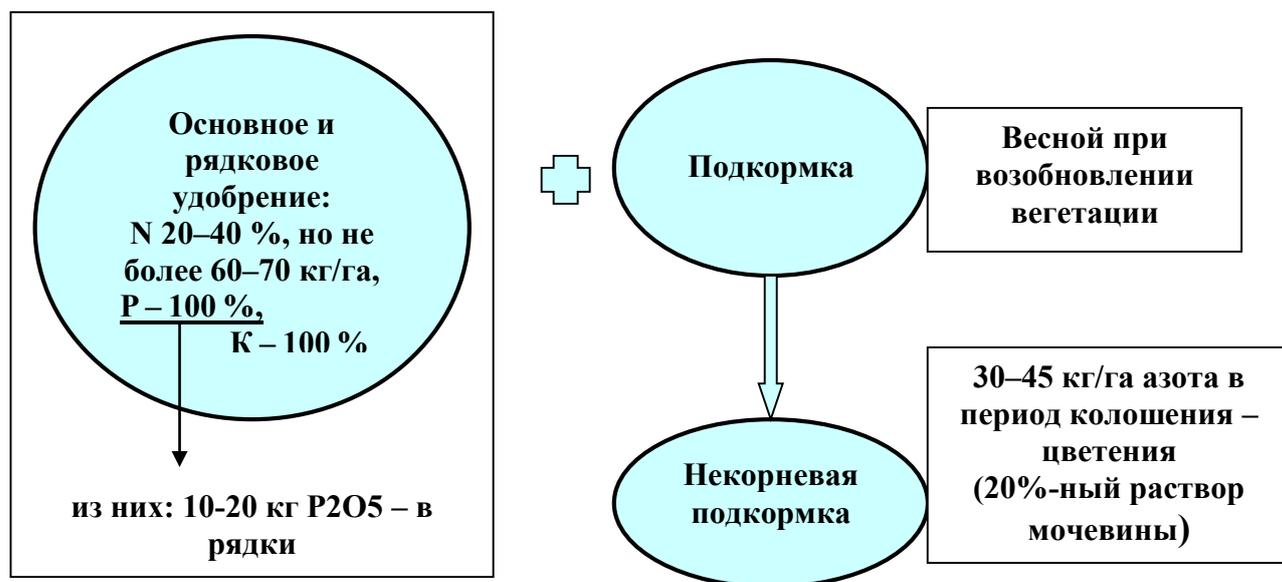


Рисунок 46 – Примерная схема удобрения озимых зерновых

Под озимые широко используют *органические удобрения*. Затраты на их внесение хорошо окупаются урожаем: в 145 опытах Географической сети ВИУА прибавка урожая от навоза на дерново-подзолистых почвах составила в среднем 0,7 т/га. Эффективность навоза снижается с севера на юг и с запада на восток Европейской части России и с востока на запад – в Сибири. Одна тонна навоза окупается в среднем 20–26 кг зерна. Оптимальные дозы органических удобрений под озимые в Нечерноземной зоне составляют 25–30 т/га. Органические удобрения можно вносить непосредственно под озимые, идущие по чистым парам, после рано убираемых предшественников или под парозанимающие культуры.

Дозы минеральных удобрений определяют с учетом величины планируемого урожая, свойств почвы, особенностей предшественника и внесенных под него удобрений.

Фосфорные и калийные удобрения (за исключением стартовой дозы фосфора) вносят до посева под основную обработку почвы.

Азотные удобрения применяют дробно. Под предпосевную обработку почвы используют примерно 30% суммарной дозы, но не более 60–70 кг/га. Лучшими азотными удобрениями для основного внесения являются аммонийные и амидные, которые малоподвижны в почве и практически не вымываются.

На хорошо окультуренных почвах, после бобовых предшественников, а также на всех почвах при внесении органических удобрений непосредственно под озимые азотные минеральные удобрения не вносят.

Такая организация питания растений в осенний период обеспечивает лучшее укоренение, кущение, накопление углеводов в узлах кущения и повышение зимостойкости и морозоустойчивости растений.

Наибольший эффект дает локальное (ленточное) внесение основной дозы минеральных удобрений. Его можно вносить одновременно с высевом семян и внесением рядкового удобрения. Для этих целей используют сеялку СЗК-3,6. Она снабжена дополнительным туковым бункером объемом 1 м³, одновременно с высевом семян вносит стартовые дозы удобрений (25–200 кг/га), а в междурядья – основные дозы (100–1000 кг/га) удобрений. Удобрения заделывают однодисковыми сошниками на глубину 79–115 мм, а семена двухдисковыми или килевидными сошниками на глубину 35–89 мм. В этом случае между семенами и удобрениями образуется почвенная прослойка.

Доза рядкового удобрения составляет 10–20 кг/га P₂O₅ в виде водорастворимых фосфорных удобрений – суперфосфата, аммофоса или других комплексных удобрений. Эта доза на дерново-подзолистых и серых лесных почвах обеспечивает повышение урожайности озимых зерновых на 1,8–3,4 ц/га. Наибольший эффект дает внесение фосфора (табл. 20).

Весной озимые рано трогаются в рост и требуют повышенного азотного питания. Минерального азота в почве в это время очень мало, так как мобилизационные процессы в осеннее-весенний период ослаблены из-за низких температур и переувлажнения почвы, поэтому оставшееся количество азотных удобрений используют для проведения *подкормок*.

Подкормки могут быть ранними и поздними: ранние влияют на величину урожая, поздние (летние) – в основном на его качество. Число подкормок определяется технологией выращивания озимых зерновых культур.

Таблица 20 - Влияние удобрений, внесенных в рядки, на урожайность озимых зерновых культур

Почвы	Урожай без рядкового удобрения, ц/га	Прибавка урожая, ц/га			Число опытов
		Р	РК	НРК	
Дерново-подзолистые и серые лесные	19,0	2,6	2,3	2,6	18
Выщелоченные, типичные, южные черноземы	23,1	2,5	3,5	3,3	38

При рядовой, традиционной технологии выращивания проводят одну подкормку (используя оставшуюся дозу азота) – рано весной, как только сошел снег и возобновилась вегетация растений (время весеннего возобновления вегетации – ВВВВ). Это наиболее эффективный срок внесения удобрений, так как он максимально приближен ко времени активного потребления растениями питательных элементов. В это время у растений появляются молодые корешки. Эта подкормка улучшает кущение растений и повышает урожайность: 30 кг/га азота позволяет дополнительно получить до 3 ц/га зерна.

Однако на суглинистых почвах проведение подкормки в этот срок может быть затруднено из-за сложности передвижения техники по полю. Если поле ровное, не имеет большого уклона, то подкормка может быть проведена раньше – «по черепку», когда в ранние утренние часы почва находится в подмерзшем состоянии, что не мешает движению машин.

При выращивании озимых *по интенсивной технологии*, предполагающей наличие технологической колеи, по которой может передвигаться техника, делают до трех подкормок. Первую подкормку (20% от суммарной годовой дозы) проводят рано весной при возобновлении вегетации. Оптимальная доза азота при этой подкормке зависит от плотности посева растений: при плотности 800–1000 шт./м² – 50–60 кг/га азота, при 600–800 шт./м² дозу следует увеличить на 15–20%, при плотности более 1000 шт./м² – не более 50 кг/га. Лучшим удобрением для этой подкормки является аммиачная селитра. Для этой подкормки можно использовать также жидкое азотное удобрение – КАС.

Дозу подкормки можно уточнить по результатам почвенной диагностики. Для этого определяют запас минерального азота в метровом слое почвы и уточнение ведут по формуле:

$$D_N = N_{\text{мин}}(1) - N_{\text{мин}}(2),$$

где D_N – уточненная доза азота для подкормки, кг/га; $N_{\text{мин}}(1)$ – требуемое содержание минерального азота в почве, кг/га; $N_{\text{мин}}(2)$ – фактическое содержание его в почве, кг/га

Для получения урожая зерна 45–55 ц/га в метровом слое почвы должно содержаться 140–160 кг/га минерального азота.

Одновременно проводят тканевую или листовую диагностику питания растений. Оптимальное содержание азота в листьях озимой пшеницы в фазе кущения составляет 4,9–5,5% в сухом веществе.

Если уточненная доза азота превышает 80 кг/га, то ее делят на две части (две подкормки).

Вторую подкормку проводят в начале выхода растений в трубку (при появлении первого стеблевого узла). Она способствует формированию продуктивного стебля (удлинению колоса, увеличению в нем числа зерен). Наиболее эффективным удобрением для этой цели является аммиачная селитра. Доза азота составляет 20–30% годовой дозы. Ее можно уточнить на основе растительной диагностики (тканевой или листовой). Оптимальное содержание

общего азота в листьях озимой пшеницы в фазе выхода в трубку составляет 3,9–4,5% в сухом веществе.

Весенние подкормки фосфорными и калийными удобрениями не эффективны. Лишь на почвах легкого гранулометрического состава возможна подкормка растений калийным удобрением. Наибольшая оплата удобрений урожаем – при использовании азотных удобрений (табл. 21)

Таблица 21 – Влияние весенней подкормки на урожай озимых в Нечерноземной зоне (данные ВИУА)

Удобрение и доза (ц/га)	Число опытов	Прибавка урожая зерна, (среднее за 3 года), ц/га	Оплата 1 кг д. в. удобрений зерном, кг
Аммиачная селитра (0,7)	686	3,0	12,6
Суперфосфат (1,5)	545	2,4	8,0
Аммиачная селитра (0,7) + суперфосфат (1,5)	320	3,5	6,5
Аммиачная селитра (0,7) + суперфосфат (1,5) + хлористый калий (0,5)	169	3,9	4,6

Третья подкормка (*некорневая*) проводится в период колошения-цветения. Она способствует повышению содержания в зерне белка. Некорневую подкормку проводят мочевиной (10–20%-ным раствором) или КАС (при разведении его водой в отношении 1:2 или 1:3). Удобрение усиливает фотосинтез, распад белков в листьях и отток азотсодержащих соединений в зерно, за счет чего повышается его качество.

Подкормку лучше проводить вечером в безветренную и не дождливую погоду или утром. Оптимальная доза азота для некорневой подкормки составляет 30–45 кг/га. Для ее уточнения используют результаты листовой диагностики: если содержание общего азота в листьях превышает 4%, то подкормку не проводят, так как сильную пшеницу можно получить и без нее; если меньше 2% – подкормка бесполезна; и только если содержание общего азота составляет 2–4% – подкормка азотом показана.

Некорневая подкормка повышает не только содержание белка в зерне (на 0,5–2%), но и клейковины (на 3–5%), а также незаменимой аминокислоты – лизина.

Поздняя подкормка эффективна лишь на полноценных по густоте посевах с ожидаемой урожайностью пшеницы более 2,5–3 т/га, ржи – не менее 2–2,5 т/га при годовой дозе минерального азота более 60 кг/га.

При суммарных дозах азота, превышающих 100–120 кг/га для озимой пшеницы и 90 кг/га для озимой ржи, даже на высоком фосфорно-калийном фоне отмечается полегание посевов, от которого может быть потеряно до 30–60% урожая.

Наиболее радикальный способ борьбы с этим явлением – выведение низкорослых, полукарликовых и карликовых форм растений с прочной соломиной. Однако внедрение этих форм оправдано не во всех районах. Они имеют слабую зимостойкость, мелкую корневую систему, пониженное качество зерна, повышенную склонность к поражению болезнями, т. е., непригодны или малопригодны для умеренного климатического пояса.

В середине 60-х годов XX столетия был предложен альтернативный путь решения этой проблемы – применение *ретардантов* (от лат. *retardatio* – замедление, задержка). Это химические препараты, которые тормозят биосинтез гиббереллинов и благодаря этому замедляют рост растений в высоту, утолщают стенки стеблей. Их применяют как средство борьбы с полеганием без нарушения нормальных сроков созревания. Так, препарат тур (ССС – хлорхолинхлорид от лат. *chlorcholinchlorid*) замедляет рост стеблей озимой и яровой пшеницы, ярового ячменя, повышает продуктивную кустистость. Препарат применяется против полегания посевов зерновых, семенников злаковых трав.

Обработку посевов ретардантами целесообразно совмещать с использованием гербицидов, проведением подкормки азотными и микроудобрениями.

Из микроудобрений для некорневых подкормок и предпосевной обработки семян используют борную кислоту, сульфаты меди, цинка, марганца. Для внесения в почву – бормагниевое удобрение, борный суперфосфат, аммофос с цинком, аммофос с медью, суперфосфат с марганцем, хлористый

калий с медью и другие макроудобрения с микроэлементами. Дозы и приемы внесения микроудобрений под озимые культуры представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Дозы и приемы внесения микроудобрений под озимые зерновые

Микроэлементы	Прибавка урожая, ц/га	Дозы и приемы внесения		
		основное, кг/га	в подкормку, г/га	обработка семян, г/ц
Бор	1,4	0,5	50	10
Медь	3,7	1,0	75	30
Цинк	2,5	3,0	25	12
Марганец	1,9	3,0	50	18

2.5.2 ЯРОВЫЕ ЗЕРНОВЫЕ

Вегетационный период яровых зерновых культур короче, чем озимых (ячменя – 70–100 дней, овса – 100–120, яровой пшеницы – 80–115 дней), а вынос питательных элементов урожаем – примерно одинаковый. В расчете на 1 т зерна с соответствующим количеством соломы яровая пшеница выносит 27–38 кг азота, 9–12 кг фосфора и 18–30 кг калия, ячмень – 20–28, 7–12 и 11–24, а овес – 25–32, 10–14 и 28–32 кг, соответственно. При выращивании яровых зерновых на черноземах вынос питательных элементов растениями выше, чем на дерново-подзолистых почвах. Пшеница и ячмень не переносят кислых почв и хорошо растут на слабокислых и нейтральных почвах. Овес растет в более широком интервале реакции почвы.

Корневая система у яровых зерновых менее развита, чем у озимых, они слабее кустятся. Это делает необходимым организацию их полноценного питания легкодоступными формами питательных элементов.

По интенсивности роста корневой системы, ее ветвлению первое место среди яровых колосовых культур занимает ячмень.

Поглощение растениями питательных элементов происходит неравномерно. Почти половину общей потребности в азоте яровая пшеница потребляет к фазе выхода в трубку, а к фазе колошения поглощение азота практически завершается (табл. 23). Недостаток его в первый месяц жизни

ведет к нарушению формирования генеративных органов и снижению урожая. В таких условиях проведение подкормок азотом в более позднее время не помогает.

Таблица 23 – Поступление питательных элементов в растения яровой пшеницы
(в % к максимальному содержанию)

Фазы развития	Органическая масса	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Кущение	4,6	19,6	3,3	25,4
Выход в трубку	12,6	44,8	34,7	42,1
Колошение	62,1	97,6	100,0	100,0

Первые 10–20 дней являются критическим периодом в питании растений фосфором. Рядковое внесение фосфорных удобрений (10–20 кг/га P₂O₅) способствует росту корневой системы, формированию крупного колоса, ускоряет созревание растений, способствует лучшему усвоению растениями азота и калия, повышает урожайность яровых зерновых на 2–4 ц/га. При недостатке фосфора растения плохо усваивают азот и калий.

Наибольшее количество калия растения поглощают в первые периоды роста и развития, к фазе колошения в них уже содержится весь необходимый калий. Калийные удобрения наиболее эффективны на торфяно-болотных, минеральных песчаных и супесчаных почвах, а также в условиях известкования кислых почв и при низком содержании подвижных форм калия в почве.

Из яровых зерновых наиболее требовательны к условиям произрастания ячмень и пшеница, особенно твердая, так как основное количество питательных веществ она поглощает за более короткий промежуток времени. За время трубкования–колошения в пшеницу поступает 75% и более питательных элементов. Поэтому при благоприятных погодных условиях яровая пшеница хорошо отзывается на внесение удобрений.

Система удобрения яровых зерновых (ячменя пшеницы, овса), как правило, строится по двухзвенной схеме – допосевное и рядковое (рис. 47).



Рисунок 47 – Схема распределения минеральных удобрений под яровые зерновые

Яровые зерновые очень отзывчивы на удобрение. В среднем 1 кг NPK при правильном соотношении дает дополнительно 5,0–5,5 кг зерна.

Органические удобрения под яровые зерновые, как правило, не вносят, так как они хорошо используют их последствие. Исключением является пшеница, выращиваемая в лесостепных и степных районах Западной Сибири. Здесь при размещении по пару под нее рекомендуется внесение от 15 до 30 т/га навоза или компоста.

Дозы минеральных удобрений определяют исходя из величины плановой урожайности, плодородия почвы, особенностей предшественника, внесенных ранее удобрений. При современной технологии выращивания яровых хлебов под урожай зерна 4,0–4,5 т/га на дерново-подзолистых и серых лесных почвах требуется внесение 120–130 кг/га азота, 100–110 – фосфора и 90–100 кг/га калия. При подсеве к яровым зерновым многолетних трав, например клевера с тимофеевкой, фосфорно-калийные удобрения целесообразно вносить с учетом потребности в них трав, т.е. «в запас». На почвах с низким содержанием калия,

а также при возделывании яровых зерновых после многолетних трав отмечается высокая эффективность калийных удобрений.

До посева используют полное минеральное удобрение, при этом в зонах достаточного увлажнения фосфорно-калийные удобрения вносят осенью под зяблевую обработку почвы, а азотные – весной. На песчаных, супесчаных и торфяных почвах с промывным типом водного режима осеннее внесение калийных удобрений нежелательно из-за опасности вымывания калия.

Лучшими удобрениями для основного внесения являются аммофос, аммофосфат, ЖКУ, хлористый калий, аммиачная селитра (весной), КАС. Только в засушливых районах все удобрения, включая азотное, допустимо вносить осенью.

В системе удобрения яровых зерновых особая роль принадлежит азоту. При содержании нитратного азота в слое почвы 0–20 см менее 15 мг/кг почвы, что соответствует низкой обеспеченности, внесение азота до посева необходимо, особенно под пшеницу. Если яровые хлеба размещаются после пропашных, под которые применяли органические удобрения в дозе 40 т/га, во избежание полегания растений следует вносить не более 50–60 кг/га азота.

При посеве яровых хлебов обязательным приемом является внесение в рядки водорастворимого фосфорного удобрения в дозе 10–20 кг/га P_2O_5 (в виде суперфосфата или аммофоса). Он способствует лучшему укоренению растений, закладке репродуктивных органов, ускоряет созревание растений, повышает урожайность.

Подкормку яровых зерновых обычно не проводят. Она целесообразна только при орошении и выращивании этих культур по прогрессивной технологии, когда планируется высокая урожайность, а также тогда, когда по разным причинам до посева азотные удобрения не были внесены или их было внесено недостаточно. В этих случаях подкормку проводят в конце фазы кущения или начала выхода растений в трубку (в последнем случае – при наличии технологической колеи). Прикорневые подкормки азотными

удобрениями могут быть эффективными только при условии достаточного увлажнения почвы.

Можно также провести некорневую подкормку в период колошения – начала цветения. Эта подкормка повышает качество зерна. Для ее проведения используют мочевины (65 кг на 300–500 л воды). Можно применять КАС при разведении водой в отношении 1:2 или 1:3.

Из микроэлементов наибольшее значение для яровых хлебов имеет медь. Для некорневых подкормок используют раствор сульфата меди (100–200 г/га в зависимости от содержания этого микроэлемента в почве) и проводят ее в стадии конца кушения–начала выхода в трубку, совмещая с химической прополкой, обработкой посевов препаратом ТУР, некорневой подкормкой азотным удобрением.

2.5.3 ЗЕРНОБОБОВЫЕ КУЛЬТУРЫ

К группе зернобобовых культур относятся бобовые, которые выращивают исключительно для получения сухого семени, которое является основным источником получения растительного белка. Так, семена спелого гороха содержат около 30% белка, нута – 25%, кормовых бобов – до 28%, фасоли – до 32%. Эти продукты служат дополнением к рациону сельскохозяйственных животных и птиц, являются бесценными в питании человека.

К зернобобовым культурам относятся горох, бобы, фасоль, чечевица, кормовые бобы, люпин, адзуки, бамбарский земляной орех (рис. 48).



Рисунок 48 – Семена зернобобовых культур

До 50–80% азота, идущего на формирование урожая, эти культуры усваивают из воздуха. Способность в симбиозе с клубеньковыми бактериями фиксировать атмосферный азот снижает потребность зернобобовых культур в азотных удобрениях. С другой стороны повышенное содержание в почве минерального азота подавляет образование клубеньков, значительно снижает размеры азотфиксации и зернобобовые становятся такими же потребителями азота, как не бобовые культуры. После появления всходов, когда еще на корнях не развились клубеньки, растения питаются только минеральными соединениями почвы, а формирование клубеньков и их активная работа наступает примерно через 3–4 недели после всходов. Поэтому в начале роста растений эффективны небольшие дозы азота (30–40 кг/га).

В процессе развития растений интенсивность симбиотической фиксации азота изменяется: она достигает максимума в период бутонизации-цветения, а при переходе к репродуктивному развитию клубеньки стареют и резко снижают свою активность. В целом усвоение атмосферного азота продолжается сравнительно недолго (18–30 суток). Нарастает интенсивность процессов реутилизации продуктов фотосинтеза, что приводит к истощению вегетативных органов. Оптимизация азотного питания посредством некорневой подкормки в период налива зерна может дольше сохранить активность работы листового аппарата и способствовать росту урожайности.

Внесение фосфорных удобрений стимулирует рост корневой системы (особенно корневых волосков, через которые проникают бактерии) и активность клубеньковых бактерий, уменьшает вредное действие повышенных доз азота на процесс образования клубеньков.

Бобовые растения обогащают почву азотом и служат хорошим предшественником для других культур. По сравнению со злаковыми культурами в урожае бобовых содержится больше азотистых веществ, особенно белка. Так, в зерне гороха азота содержится в 2 раза, а в соломе почти в 3 раза больше, чем в зерне и соломе ячменя.

Важной особенностью зернобобовых культур, особенно люпина и гороха, является их способность усваивать из почвы и удобрений труднодоступные формы фосфора. Люпин, имея мощную, глубоко проникающую корневую систему, способен поглощать фосфор и другие элементы питания из глубоких горизонтов, обогащая ими пахотный слой почвы.

Потребление питательных веществ бобовыми растениями разных видов зависит от особенностей их развития. У гороха и вики накопление азота и калия достигает максимума к концу цветения, а фосфора – во время созревания. У растений с более растянутым периодом цветения, например, у кормовых бобов и люпина, наибольшее содержание азота, фосфора и калия достигается ко времени созревания бобов на главном стебле. Большое значение в формировании семян имеет реутилизация питательных элементов. Поэтому ответственным в формировании урожая является период, предшествующий цветению, во время которого растения накапливают продукты фотосинтеза и корневого питания в вегетативных органах для последующего их повторного использования на налив семян.

Вклад реутилизации в формирование урожая семян зависит от условий выращивания растений. Исследованиями, проведенными во ВНИИЗБК на серых лесных почвах, установлено, что у растений гороха при дефиците влаги и раннем прекращении процессов корневого питания до 100% азота и 85% фосфора в семенах может аккумулироваться за счет реутилизации из вегетативных органов. В условиях холодного и влажного лета – до 50% (Н.Е. Новикова, 2002).

Зернобобовые культуры плохо растут на кислых почвах. Оптимальная реакция среды для них близкая к нейтральной или нейтральная (рН 6–7), это необходимое условие для развития клубеньковых бактерий. Кроме того, необходима достаточная обеспеченность почвы гумусом, фосфором, калием, кальцием, молибденом.

Система удобрения зернобобовых культур, как правило, предусматривает основное и рядковое удобрение с выполнением комплекса мер для повышения азотфиксирующей способности растений (рис. 49).

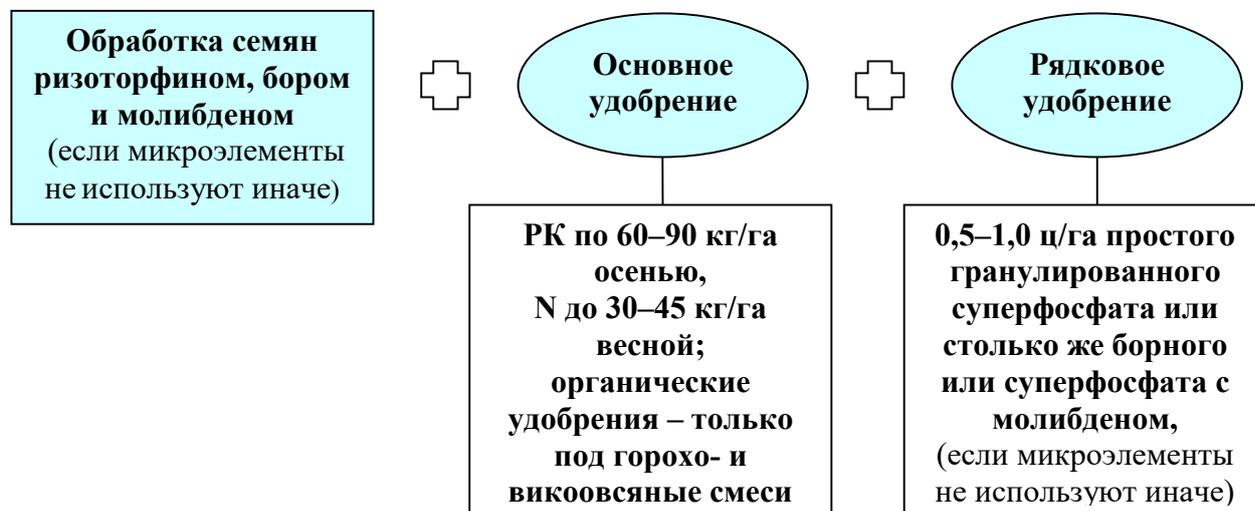


Рисунок 49 – Схема системы удобрения зернобобовых культур

В качестве основного удобрения используют минеральные удобрения, но при выращивании в смеси с овсом в качестве парозанимающей культуры – используют и органические, особенно на слабо окультуренных почвах. Непосредственное внесение органических удобрений рекомендуется только под кормовые бобы (30 т/га). При использовании их под горох и вику происходит сильное развитие вегетативной массы и полегание растений. Навоз или компост на суглинистых почвах вносят осенью вместе с фосфорно-калийными удобрениями.

Дозы фосфора и калия под зернобобовые культуры в зависимости от плодородия почвы колеблются от 60 до 90 кг/га. Азотные удобрения вносят весной под предпосевную культивацию в дозах 30–40 кг/га. Необходимость их применения диктуется тем, что фиксация азота начинается примерно через 3–4 недели после всходов, кроме того, многие из зернобобовых культур являются слабыми азотфиксаторами (горох, вика, фасоль), лишь люпин, который до 80% потребности в азоте удовлетворяет за счет атмосферного, во внесении азотных

удобрений не нуждается. Только на почвах крайне бедных азотом в ранние весенние сроки его вносят в дозах 30–40 кг/га.

Важным звеном системы удобрения зернобобовых культур является внесение фосфора в рядки при посеве. Это может быть гранулированный простой суперфосфат. Прибавка урожая от этого приема составляет 1,5–2,0 ц/га.

Подкормку зернобобовых культур, как правило, не проводят. Однако в последние годы проявляется все больший интерес к некорневой подкормке зерновых бобовых культур азотом как приему коррекции питания растений в период цветения. Ее использование дает возможность оптимально сочетать автотрофное и симбиотрофное питание бобовых растений.

Подкормку можно проводить раствором карбамида, КАС, а также растворами комплексных удобрений (кристалона, террафлекса, фоликса, агромастера, басфолиара интермага и др.), которые содержат кроме азота, фосфора и калия микроэлементы в хелатной форме и предназначены для листовой подкормки растений. Многие из них можно использовать совместно с пестицидами, что снижает материальные затраты.

Эффективность поздних некорневых подкормок была убедительно показана при выращивании сои, вигны, нута, кормовых бобов.

Необходимость использования микроэлементов должно основываться на содержании их в почве. На нейтральных почвах зернобобовые культуры могут испытывать недостаток бора, а для усиления азотфиксации – необходим молибден. Прибавка урожая зерна гороха от внесения молибдена на дерново-подзолистых и серых лесных почвах составляет 2–3 ц/га (табл. 24). При содержании доступных форм бора и молибдена менее 0,3 мг/кг почвы необходимо применять соответствующие микроудобрения, например, борный и молибденизированный суперфосфат. Их лучше использовать при посеве в рядки. Для предпосевной обработки семян используют борную кислоту и молибдат аммония. В современных условиях дефицита удобрений последний прием имеет предпочтение. Или, как было отмечено выше, – использовать

поздние некорневые подкормки комплексными удобрениями с микроэлементами.

Таблица 24 – Действие молибдена на урожай гороха

Почва	Урожай зерна, ц/га		Прибавка урожая	
	без молибдена	с молибденом	ц/га	%
Дерново-подзолистая	13,1	16,1	3,0	23
Серая лесная	20,5	22,5	2,0	10

С целью повышения азотфиксирующей способности зернобобовых культур применяют также обработку семян ризоторфином (200 г на гектарную норму семян), используя предназначенный для данной культуры препарат. Это особенно важно при выращивании бобовых культур на полях, где ранее они не возделывались. Ризоторфин повышает урожайность зерна гороха на 1–2 ц/га, люпина – на 2–2,5 ц/га при увеличении содержания белка в зерне на 2–3%. Инокуляцию семян ризоторфином совмещают с обработкой их борной кислотой и молибдатом аммония (по 25–30 г на 1 ц семян). Удобрения и ризоторфин растворяют в 5–10 л воды (расход на 1 т семян) и обрабатывают семена непосредственно перед посевом.

Таким образом, возделывание зернобобовых по современной технологии предусматривает соблюдение ряда условий:

- наличие соответствующего культуре штамма бактерий;
- близкую к нейтральной реакцию почвенной среды (кроме люпина);
- оптимальную влажность (зернобобовые влаголюбивы) и хорошую аэрацию почвы;
- достаточное содержание в почве подвижных форм фосфора, калия (по 100–150 мг/кг почвы) и микроэлементов;
- высокий уровень фотосинтеза, так как клубеньковые бактерии требуют много углеводов;
- использование высокопродуктивных районированных сортов.

2.5.4 ГРЕЧИХА

Гречиха – одна из важнейших крупяных культур. Она может расти на разных почвах, но предпочитает легкие суглинистые и супесчаные, которые быстро прогреваются, хорошо аэрируемы и достаточно обеспечены питательными веществами и влагой. Она дает высокие урожаи на черноземных и серых лесных почвах, хорошо растет на осушенных и хорошо обработанных торфяниках. На тучных и обильно унавоженных почвах у нее сильно развивается вегетативная масса, а урожай снижается. Не подходят для нее и тяжелые известковые почвы. Гречиха хорошо развивается на почвах со слабокислой и нейтральной реакцией, наиболее благоприятны для нее почвы с $pH_{КС1}$ 5,0–6,0.

Гречиха – достаточно теплолюбивая культура, ее семена прорастают при температуре не ниже 6 °С, а массовые всходы появляются, когда почва прогревается до 15–20 °С. При оптимальной температуре от посева до появления всходов проходит не больше недели. Эта культура чувствительна к заморозкам и к высоким температурам. При температуре воздуха выше 30 °С резко снижается опыление и резко снижается урожай

По требованию к влаге она занимает первое место среди крупяных культур, и особенно чувствительна к ее недостатку в период цветения – плодообразования. Это связано с тем, что у листьев гречихи нет опушения, воскового налета, но много устьиц на верхней и нижней сторонах листьев, что обуславливает высокую транспирацию. На формирование 1 кг сухой массы растений гречихи требуется 500–600 кг воды.

Корневая система гречихи развита слабее, чем у зерновых культур, но характеризуется очень высокой физиологической активностью. Корень у гречихи стержневой и проникает в почву на глубину до 1 м, но большая часть их расположено в толще почвы 0–40 см. По массе корней на единицу площади она в 2,4 раза уступает пшенице, в 1,6 раза – ячменю, а по поглотительной способности, наоборот, в 2,7 раза превосходит пшеницу и в 5,5 – ячмень. В

числе немногочисленных культур она способна усваивать фосфор из труднодоступных форм. Объясняется это тем, что корневая система ее выделяет органические кислоты (щавелевую, лимонную и др.), способные растворять труднодоступные вещества почвы. Благодаря очень разветвленной корневой системе и сильной подкисляющей способности корневых выделений гречиха усваивает из почвы в 7–8 раз больше питательных элементов, чем озимая пшеница и в 1,5 раза больше, чем просо.

Гречиха отличается интенсивным выносом питательных элементов урожаем: в расчете на 1 т зерна с соответствующим количеством соломы она выносит 30–38 кг азота, 15–20 – фосфора и 40–48 кг калия, что, соответственно, в 1,5, 2 и 3 раза выше, чем вынос зерновыми хлебами. Повышенная потребность гречихи в питании объясняется тем, что рост вегетативной массы и образование новых цветков у нее продолжают непрерывно до самой уборки урожая, поэтому значительные количества питательных веществ используются не только зерном, но и вегетативной массой. У злаковых хлебов, в отличие от гречихи, рост стебля прекращается с наступлением цветения и питательные вещества с этого времени идут преимущественно на развитие завязи и образование зерна.

Излишнее азотное питание вызывает буйное развитие вегетативной массы гречихи и снижение урожая зерна. При дефиците фосфора образуется большое количество соцветий, основная часть которых погибает.

Гречиха – калиелюбивая и хлорофобная культура, поэтому лучшими формами калийных удобрений под нее являются бесхлорные (калимаг, калимагнезия и др.). Так как в ассортименте калийных удобрений преобладают хлорсодержащие, то их под гречиху следует вносить осенью, что в достаточной степени обеспечит вымывание хлора осенне-весенними осадками за пределы корнеобитаемого слоя почвы. Допустимо их внесение весной за 3–4 недели до посева гречихи, особенно на легких почвах.

Период активного потребления питательных элементов у гречихи короткий: за 30–40 дней после посева она использует более 60% азота и калия и до 50% фосфора от максимального их содержания.

Система удобрения гречихи может строиться по трехзвенной схеме (рис. 50).

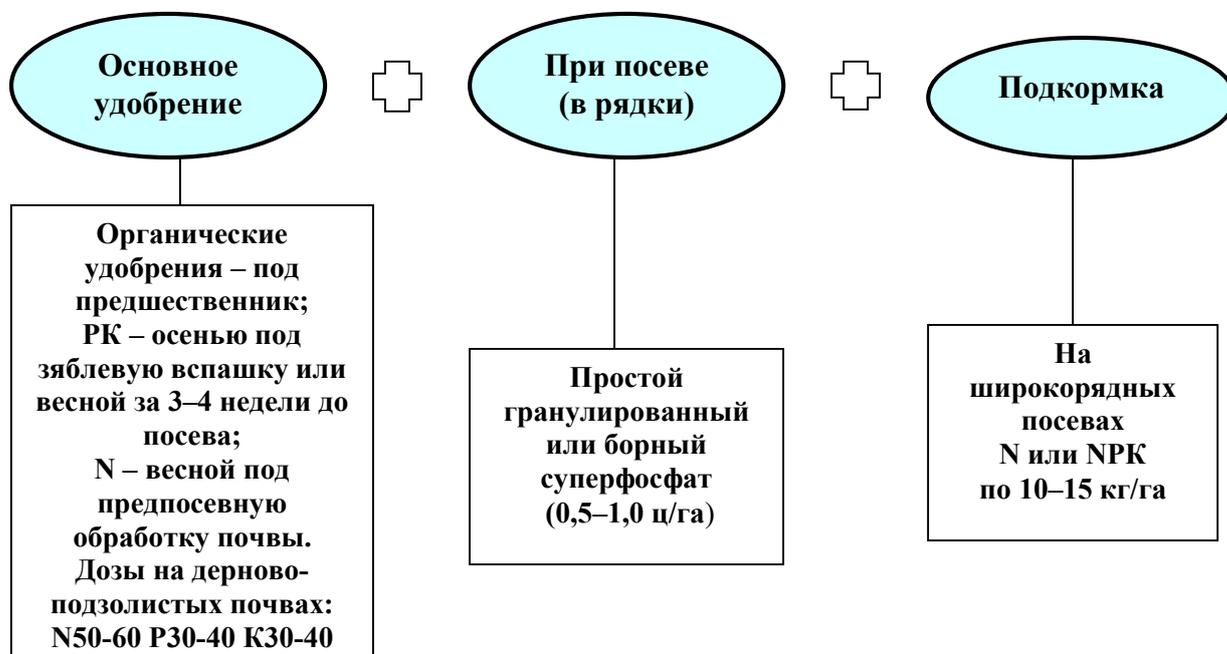


Рисунок 50 – Схема удобрения гречихи

Дозы удобрений на планируемую урожайность следует определять с учетом почвенно-климатических условий, биологической потребности культуры в элементах питания, уровня обеспеченности почвы подвижными формами питательных элементов (на основании агрохимических картограмм) и степени их использования из почвы, последствий органических удобрений, внесенных под предшественник и других условий.

Гречиха хорошо отзывается на азотные удобрения, но избыток его в середине и второй половине вегетации задерживает созревание и резко снижает плодообразование. Для среднеспелых и среднепозднеспелых сортов, даже на слабокультуренных почвах после зерновых предшественников, доза азота не должна превышать 60 кг/га, после пропашных – 30–40 кг/га.

При содержании в почве подвижных форм фосфора и калия менее 100 мг/кг почвы рекомендуется вносить 50–60 кг/га фосфора и 90–100 – калия. Эти

дозы позволяют рассчитывать на получение 18–20 ц/га зерна гречихи. При высоком содержании фосфора и калия (более 200 мг/кг) можно внести только 15–20 кг/га фосфора в рядки при посеве и 30–50 кг/га калия до посева.

Кроме азота, фосфора и калия для высокой продуктивности гречихи необходимы и некоторые микроэлементы. На дерново-подзолистых почвах, особенно после известкования, отмечается недостаток доступных для растений форм бора (менее 0,3 мг/кг почвы). В этих условиях внесение борных удобрений является одним из важнейших элементов системы удобрения. Для предпосевной обработки семян используют борную кислоту или буру, в почву вносят борнодатолитовую муку (100–150 кг/га) в смеси с основной дозой макроудобрений, борный суперфосфат вносят в рядки при посеве (0,5–1,0 ц/га).

Таким образом, на почвах с низким и средним уровнем естественного плодородия (при содержании 1,5–2,0% гумуса, 50–100 мг/кг почвы подвижных форм фосфора и калия) система удобрения гречихи должна включать следующие основные элементы: внесение органических удобрений под предшествующую культуру, основное внесение фосфорно-калийных удобрений осенью, а азотных – весной; внесение в рядки при посеве простого или борного суперфосфата или сложных удобрений в дозах 10–20 кг P_2O_5 на 1 га. На широкорядных посевах при планировании высокой урожайности и современной технологии возделывания гречихи посевы подкармливают азотными или комплексными удобрениями (10–15 кг д. в. на 1 га) в период бутонизации-начала массового цветения.

Учитывая, что гречиха является важнейшим медоносом, опыляется пчелами, то для получения хорошего урожая вблизи поля в расчете на 1 га должно находиться 3–4 семьи пчел. В благоприятный год сбор высококачественного меда может составлять от 50 до 80 кг/га.

2.5.5 ЛЕН – ДОЛГУНЕЦ

Лен-долгунец имеет короткий вегетационный период (75–90 дней), слабо развитую корневую систему с низкой усваивающей способностью.

Общее количество потребляемых питательных элементов невелико: в расчете на 1 т соломки льна вынос азота составляет 10–14 кг, фосфора – 4,5–7,5, калия – 11–17,5 кг, т. е. в 1,5–2,5 раза меньше, чем озимыми хлебами.

Питательные элементы поглощаются льном неравномерно. Первые 15–20 дней после появления всходов лен растет медленно, в это время усиленно развивается корневая система. Это критический период в потреблении фосфора. От фазы «елочки» до бутонизации отмечается критический период в питании азотом. Избыток азота недопустим, так как он снижает качество волокна, повышает склонность льна к полеганию, затягивает созревание, утолщает стебли. За период всходы–бутонизация лен поглощает примерно 30% азота и калия и 20% фосфора от максимальной потребности. Критический период в питании калием – первые три недели, когда формируются волокна, а также фаза бутонизации. Достаточная обеспеченность растений фосфором и калием повышает их устойчивость к полеганию, грибковым болезням и ускоряет созревание.

Максимальное количество питательных элементов (60–65%) лен поглощает в течение короткого промежутка времени (15–20 дней) – от бутонизации до цветения. К концу цветения в растениях находится уже 100% азота и калия и 80–90% фосфора от общей потребности.

При выращивании льна можно использовать все три приема внесения удобрений: основное, рядковое и подкормку (рис. 51).

Наиболее высокие урожаи льна обеспечивает полное минеральное удобрение в сочетании с органическими удобрениями в севообороте и известкованием кислых почв.

Под лен органические удобрения не вносят из-за высокой опасности засорения посевов сорняками (1 т навоза содержит до 1,5–2 млн. семян сорных

растений), невозможностью равномерного их внесения и связанной с этим возможной пестротой стеблестоя из-за неодновременного созревания растений. В севообороте со льном органические удобрения чаще всего вносят под озимые зерновые и пропашные культуры.

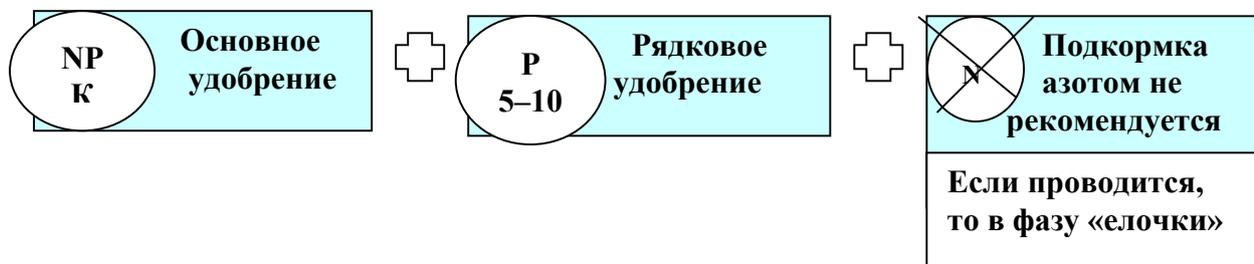


Рисунок 10 – Схема распределения минеральных удобрений под лен-долгунец

В минеральных удобрениях особое внимание следует обращать на дозы азота. При избытке азота в стеблях льна-долгунца увеличивается доля древесины и снижается содержание волокна. Само волокно получается легковесным, с низкой прочностью или грубым, сильно одревесневшим. Избыточные дозы азота – одна из причин сильного поражения льна ржавчиной, замедления его созревания. Поэтому дозы азотных удобрений должны быть установлены с учетом степени окультуренности почвы, вида предшественника и внесенных под него удобрений. После клевера и других бобовых культур под лен сокращают дозы азота, но возрастает потребность в фосфоре и калии. Лен, идущий по мягким почвам, удобряется большей дозой азота.

В таблице 25 приведены рекомендуемые дозы минеральных удобрений под лен-долгунец на дерново-подзолистых почвах.

Таблица 25 – Дозы минеральных удобрений под лен-долгунец на дерново-подзолистых почвах при среднем содержании питательных элементов

Урожайность волокна, ц/га	N, кг/га, предшественник		P ₂ O ₅	K ₂ O
	хорошие клеверища	другие культуры		
5–7	0–20	30–40	50–60	60–80
8–9	20–30	40–60	60–90	80–100
10–12	30–45	60–80	90–120	90–120

Соотношение питательных элементов в минеральных удобрениях, применяемых под лен, зависит от плодородия почвы. На почвах окультуренных, хорошо обеспеченных азотом, отношение $N:P_2O_5:K_2O$ должно быть 1:3:4, на бедных азотом почвах – 1:2:2–3.

Форма азотного удобрения может быть любой, но лучше азот вносить в составе комплексного удобрения. Лучшим таким удобрением является аммофос. Из фосфорных удобрений пригодны любые, даже труднорастворимые. Хотя лен сам не способен усваивать труднорастворимые фосфаты, но под действием почвенной кислотности, к которой лен относительно устойчив, они переходят в водорастворимую форму. Можно использовать сочетание удобрений, например, 50% фосфора в виде суперфосфата и 50 – в виде фосфоритной муки.

Из калийных удобрений имеют преимущество бесхлорные формы (калимагнезия, калимаг, сульфат калия, калийная селитра, зола), но внесение хлористого калия осенью равноценно сульфату калия. Сильвинит и калийные соли уступают им.

Основное удобрение обеспечивает питание растений на протяжении всего периода вегетации льна. Все фосфорно-калийное удобрение (или $2/3$ их дозы) рекомендуется вносить осенью, азотные – весной (вместе с оставшейся $1/3$ частью фосфорного и калийного удобрений). Если фосфор и калий не был внесен осенью, то это необходимо сделать ранней весной за 2–3 недели до посева льна.

Для усиления роста растений в первый период в рядки при посеве вносят суперфосфат в дозе, соответствующей 10–15 кг/га P_2O_5 . Для этих целей можно использовать и аммофос или нитрофоску.

Подкормка эффективна, если до посева азота внесено мало, или не внесено совсем. Ее проводят в фазу «елочки» азотными удобрениями, совмещая с обработкой растений гербицидами. Доза азота – 20–30 кг/га. Для подкормки можно использовать аммиачную селитру, а также местные

удобрения – птичий помет (5–6 ц/га), навозную жижу (6–8 т/га), разбавленную водой.

Для повышения устойчивости растений к бактериальным болезням целесообразно до посева семена обработать микроудобрениями (вместе с протравливанием): борной кислотой (150 г/ц), молибдатом аммония (200 г/ц), сульфатом меди (100–200 г/ц), сернокислым цинком (200 г/ц семян).

Важным условием получения высококачественного волокна является равномерное распределение удобрений по поверхности поля. Некачественное внесение вызывает нарушение соотношения между элементами питания, в результате – неравномерность в росте и развитии растений льна, очаговое поражение бактериальными заболеваниями, полегание, дополнительные потери при уборке и сортировке льна.

2.5.6 КАРТОФЕЛЬ

Картофель имеет слаборазвитую корневую систему с высокой усваивающей способностью. Масса корней картофеля составляет около 7% от надземной массы. Коэффициент использования фосфора и калия из почвы 5–6 и 15–20% соответственно.

Вынос питательных элементов картофелем больше, чем злаковыми, но меньше, чем корнеплодами. Это калиелюбивая и хлорофобная культура. В расчете на 1 т клубней с соответствующим количеством надземной массы в Нечерноземной зоне картофель выносит около 5 кг азота, 1,5 – фосфора и 7 кг калия. Вегетационный период колеблется от 60 до 140 дней. Период активного потребления питательных веществ у картофеля более продолжительный, чем у зерновых культур.

Раннеспелые сорта с более коротким вегетационным периодом характеризуются ускоренными темпами потребления питательных элементов. К началу цветения они используют до 30% общего количества азота и калия и около 60% – фосфора. Позднеспелые сорта основное количество питательных

элементов потребляют в период интенсивного развития ботвы и активного роста клубней.

Запас питательных веществ в материнском клубне обеспечивает питание в первый период роста и развития растений. При появлении всходов наступает критический период питания картофеля азотом и фосфором. Основное количество этих элементов (2/3–3/4 от максимального поглощения) поступает за период бутонизации–цветения. Во время образования клубней возрастает роль реутилизации питательных веществ. К моменту уборки 80% азота и 90% фосфора и свыше 95% калия от общего их содержания в биомассе находится в клубнях.

В системе удобрения картофеля соотношение элементов питания в полном удобрении должно быть следующим: N:P:K = 1:(1,3–1,5):(1,3–1,5), при дозе азота не более 135 кг/га. Отзывчивость картофеля на удобрение – повышенная. При его выращивании может быть использована органическая, минеральная и органо-минеральная система удобрения.

Для получения высоких и устойчивых урожаев картофеля на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почвах необходимо вносить 50–60 т/га органических удобрений, а на песчаных – 60–80 т/га. При увеличении дозы до 100 т/га урожайность картофеля повышается, но оплата навоза урожаем снижается.

Внесение органических удобрений под зяблевую вспашку имеет преимущество перед весенним, особенно на суглинистых почвах, так как при проходах техники весной по влажной почве неизбежно ее переуплотнение, что приводит к существенному недобору урожаев. Кроме того, затягиваются сроки посадки. Только на легких песчаных и супесчаных почвах допускается внесение органических удобрений весной.

Лучшими из них являются солоmistый навоз и торфонавозные компосты. При использовании бесподстилочного жидкого навоза дозы определяют с учетом содержания в нем азота таким образом, чтобы его доля не превышала 50–80% общей потребности растений в азоте.

При внесении любых органических удобрений их необходимо равномерно распределять по поверхности поля и заделывать в почву в течение 3–5 часов после разбрасывания.

Эффективность навоза и минеральных удобрений при выращивании картофеля примерно одинакова. В Уральском районе минеральные удобрения более эффективны, чем органические, на черноземах используют минеральную систему удобрения, в степной зоне ее сочетают с поливом.

На дерново-подзолистых почвах, особенно супесчаных, лучшей системой удобрения картофеля является органо-минеральная (табл. 26, рис. 52).

Таблица 26 – Эффективность навоза и минеральных удобрений при выращивании картофеля (данные ВИУА)

Вариант	Урожайность клубней, ц/га	Прибавка урожая	
		ц/га	%
Без удобрений	191	-	-
Навоз 30 т/га	252	61	32
N60P60K60	259	68	36
Навоз 30 т/га + N60P60K60	322	131	69

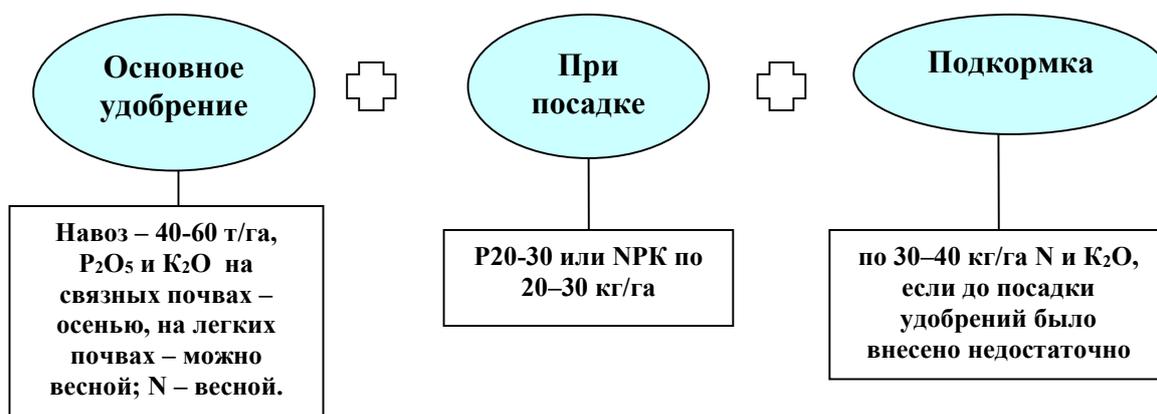


Рисунок 52 – Схема применения удобрений под картофель

При внесении навоза, чаще всего, проявляется потребность в дополнительном внесении азотных удобрений, а на почвах бедных фосфором и калием – и фосфорно-калийных. Фосфорные и калийные, особенно хлорсодержащие, удобрения на связных почвах целесообразнее вносить под

зяблевую вспашку. Это снижает напряженность весенних полевых работ и уменьшает опасность отрицательного влияния хлора на качество клубней (накопление крахмала). Азотные удобрения лучше вносить весной, так как при осеннем внесении существует опасность их вымывания и потерь при денитрификации. Лучший способ внесения минеральных удобрений – локальный.

Из азотных удобрений под картофель лучше использовать аммиачные и амидные формы, из фосфорных – гранулированный суперфосфат. Из калийных удобрений преимущество имеют бесхлорные (сульфат калия, калимагнезия, зола), а из хлорсодержащих – хлористый калий, который рекомендуется вносить осенью.

При посадке картофеля в рядки вносят гранулированный суперфосфат, аммофос или другие комплексные удобрения. На легких почвах и почвах с низким содержанием подвижного калия при посадке лучше вносить комплексное удобрение (нитрофоску, нитроаммофоску, азофоску), а при их отсутствии – смесь простых. Доза рядкового удобрения – по 20–30 кг/га азота, фосфора и калия.

Подкормку картофеля чаще всего не проводят, так как перенесение части минеральных удобрений из основного удобрения в подкормку снижает их действие. Ее используют только тогда, когда до посадки было внесено недостаточное количество удобрений или их не вносили совсем. В таком случае подкормку проводят при появлении полных всходов во время междурядной обработки азотными и калийными удобрениями по 30–40 кг/га N и K₂O. Соотношение N:P₂O₅:K₂O при удобрении картофеля должно быть 1:1,6:1,3.

Получение на дерново-подзолистых почвах урожайности картофеля 50–70 т/га, можно обеспечить при использовании прогрессивных технологий возделывания. Для этого, прежде всего, подбираются плодородные почвы, имеющие A_{пах} не менее 20–25 см, содержащие на суглинистых почвах не менее 2% гумуса, подвижных форм фосфора и калия 250–300 мг/кг и 200–250 мг/кг соответственно, а на супесчаных и песчаных – 1,5% гумуса, 160–250 мг/кг

фосфора и 180–240 мг/кг калия. На этих почвах без удобрений можно получить до 30–32 т/га картофеля.

На среднеобеспеченных подвижными формами питательных веществ дерново-подзолистых почвах осенью под вспашку вносят 40 т/га навоза или торфонавозных компостов, 70 кг/га P_2O_5 и 100 кг/га K_2O . Весной под перепашку или дискование – 70–90 кг/га азота. При посадке клубней – по 20–30 кг/га азота, фосфора и калия в виде нитрофоски или нитроаммофоски.

Эффективность удобрений зависит от общей культуры земледелия, особенно при выращивании высокопродуктивных сортов. Густота посадки картофеля должна быть не менее 50–55 тыс. растений на 1 га. Необходима борьба с сорняками, болезнями и вредителями картофеля, использование орошения в период цветения и клубнеобразования, междурядное рыхление почвы, своевременная посадка и качественная уборка урожая и др. Опоздание с посадкой на 10–12 дней полностью снимает эффективность 30–40 т/га навоза.

Получение высокой урожайности клубней картофеля хорошего качества зависит и от наличия в почве микроэлементов. На пойменных и торфяных почвах растения могут испытывать недостаток меди; рекомендуется использовать некорневые подкормки раствором сульфата меди (0,1–0,5 г на 1 л воды) по всходам и при бутонизации картофеля. На дерново-глеевых, дерново-карбонатных почвах, а также при известковании проявляется высокое действие борного суперфосфата (1 ц/га).

При планировании урожая картофеля 30 т/га и более на всех почвах посадки картофеля рекомендуется через три недели после всходов обработать раствором макро- и микроэлементов. Для этого в 400 л растворяют 6 кг мочевины, 3 кг сернокислого калия, 4 кг сульфата магния, и по 50 г молибдата аммония, сернокислого цинка, медного купороса и сернокислого окисного железа (расход на 1 га).

2.5.7 КУКУРУЗА

Кукуруза имеет мощную корневую систему, способную извлекать питательные элементы из большого объема почвы. С урожаем зеленой массы 50–70 т/га она выносит 150–180 кг азота, 50–60 – фосфора и 150–200 кг калия.

Первый месяц она растет медленно в это время идет формирование корневой системы. Поглощение питательных элементов продолжается до наступления восковой спелости зерна, но наиболее интенсивно – в период быстрого роста за сравнительно короткий промежуток времени (от выметывания метелки до цветения). К фазе цветения растения содержат уже 60% азота и фосфора и 80% калия от общей потребности.

Система удобрения кукурузы может строиться по трехзвенной схеме: основное, рядковое удобрение и подкормка (рис. 53).

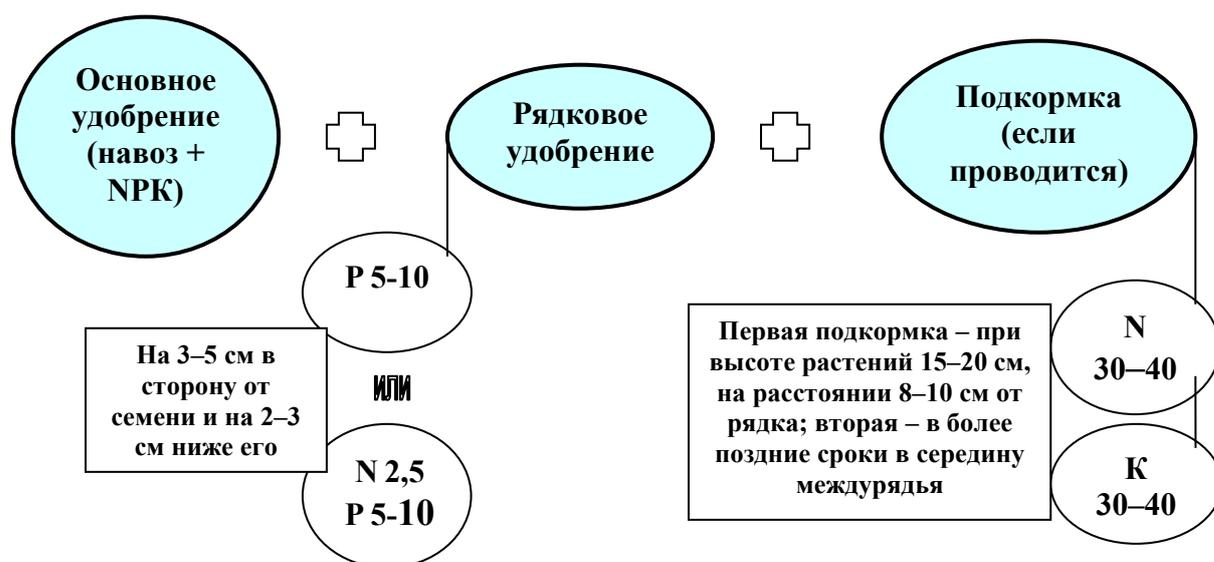


Рисунок 53 – Схема распределения удобрений под кукурузу

Использование удобрений под кукурузу – важнейший элемент технологии возделывания. Ее необходимо обеспечить бесперебойным снабжением питанием на протяжении всего вегетационного периода. Наиболее полно этому требованию отвечает сочетание органических (30–40 т/га на суглинистых, 40–60 т/га на супесчаных почвах) и минеральных удобрений.

При выращивании кукурузы без органических удобрений дозы минеральных, как правило, в 2 раза выше. Возделывание кукурузы после бобовых снижает потребность растений в азоте и усиливает в калии. Роль азотных удобрений повышается на выщелоченных черноземах и серых лесных почвах.

Кукуруза требует близкой к нейтральной или нейтральной реакции почвенной среды. На кислых почвах необходимо сочетание применения органических и минеральных удобрений с известкованием (табл. 27).

Таблица 27 – Урожайность кукурузы на дерново-подзолистой супесчаной почве (по данным БЕЛНИИЗ)

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка урожая, т/га
Контроль без удобрений	7,7	-
20 т/га навоза	27,3	19,6
20 т/га навоза + 4 т/га извести	38,7	31,0
20 т/га навоза + 4 т/га извести + NPK	50,8	43,1

Органические удобрения лучше вносить осенью, так как весеннее внесение приводит к уплотнению почвы, запаздыванию со сроками сева, повышению засоренности посевов. Лишь на почвах легкого гранулометрического состава в Нечерноземной зоне органические удобрения можно вносить весной.

В опытах Почвенного института им. В.В. Докучаева на серой лесной почве установлено, что при сплошном ее уплотнении двукратными проходами тракторов К-700 и Т-150К в весенний период при влажности почвы 25–27% она так и не смогла прийти в норму в течение всего летнего периода. Это привело к снижению урожайности кукурузы в первый год на 50%, а отрицательное действие уплотнения сказывалось еще два года (Л.Л. Шишов, 1986).

Уплотняющим деформациям подвержены все почвы, но сильнее страдают суглинистые и глинистые, причем уплотняется не только пахотный слой, но и подпахотные горизонты.

Навоз при весеннем внесении не всегда может в первый год компенсировать потери от уплотнения почвы. В связи с этим необходимо ограничивать воздействие тяжелой техники на почву весной.

Один из таких путей – перенесение срока внесения органических удобрений с весны на осень. Это снижает напряженность весенних полевых работ. Частично эта задача может решаться и за счет использования глубокого рыхления почвы чизелями.

Вслед за разбрасыванием по полю, особенно в солнечные погожие дни, навоз необходимо сразу заделать в почву, иначе до 30% аммиачного азота может быть потеряно.

Фосфорные и калийные удобрения следует вносить осенью под зяблевую вспашку; при мелкой заделке весной эффективность их резко снижается. На песчаных и супесчаных почвах удобрения вносят весной под культивацию, так как на этих почвах возможны существенные потери питательных элементов за счет вымывания (в условиях достаточного увлажнения). Азотные удобрения вносят весной до посева. Эффективность основного минерального удобрения заметно повышается при локальном способе внесения, по сравнению с разбросным. Ленточное внесение удобрений обеспечивает более рациональное и экономное их расходование.

Кукуруза очень медленно растет в первый месяц после всходов и поглощает ограниченное количество элементов питания. Однако недостаток доступных форм питательных элементов, особенно фосфора, отрицательно сказывается на дальнейшем развитии растений, снижает использование элементов питания из основного удобрения. Недостаток фосфора приводит к неравномерному цветению и оплодотворению, к искривлению початков с неровными рядами зерен и засыханию верхушки.

Поэтому, при посеве кукурузы необходимо внесение в рядки 5–10 кг/га P_2O_5 в виде суперфосфата или аммофоса. Прибавка урожая от внесения 10 кг/га фосфора составляет 3 т/га зеленой массы кукурузы. Рядковое удобрение

следует вносить глубже семян и в сторону от них на 3–5 см, так как кукуруза в начале развития чувствительна к высокой концентрации почвенного раствора.

При недостаточной заправке почвы основным удобрением, а также в годы с холодной весной, на легких почвах и при орошении кукуруза хорошо отзывается на подкормки. Особенно эффективна подкормка азотом в дозе 40 кг/га в фазе 3–5 листьев. При слабом развитии растений через 2–3 недели проводят вторую подкормку в дозе 20–30 кг/га азота.

Подкормку фосфорными и калийными удобрениями проводят тогда, когда до посева удобрения не были внесены или их было внесено недостаточно и почвы слабо обеспечены подвижными фосфатами и калием. Дозы подкормки – по 20–30 кг/га P_2O_5 и K_2O . Можно использовать навозную жижу (3–5 т/га), птичий помет (0,5–0,6 т/га) а также золу (0,3–0,4 т/га). Подкормки проводят культиваторами-растениепитателями, помещая удобрения во влажный слой почвы и следя, чтобы не подрезать корневую систему.

Под кукурузу могут быть использованы любые формы минеральных удобрений, но, учитывая высокую чувствительность кукурузы к концентрации солей в почве, предпочтение следует отдавать высококонцентрированным формам, с дозой которых меньше поступает сопутствующих солей, чем с низкоконцентрированными удобрениями. Из фосфорных удобрений лучше использовать двойной суперфосфат; из азотных удобрений – аммиачную селитру, сульфат аммония. Жидкие азотные удобрения в большинстве случаев дают близкие результаты, но при возделывании кукурузы на постоянных участках лучшей формой азотного удобрения являются аммиачная вода и безводный аммиак. Затраты средств и труда на внесение аммиака значительно ниже, чем при использовании твердых удобрений. Его применение способствует уничтожению до 50% вредных организмов, в частности, проволочника. Губительное воздействие продолжается от нескольких часов до 1,5 суток. Микрофлора почвы после этого быстро восстанавливается из-за обилия в пахотном слое легкоусвояемого азота. Сразу после внесения аммиачная вода и безводный аммиак сдвигают реакцию почвы в сторону

нейтрального интервала, способствуя лучшему росту и развитию молодых растений кукурузы, которые в раннем возрасте особенно чувствительны к кислотности почвы. Из калийных удобрений преимущество имеет хлористый калий.

Кукуруза хорошо отзывается на внесение микроудобрений, содержащих бор, медь, марганец, цинк и др. Высокая их эффективность проявляется на фоне азотных, фосфорных и калийных удобрений.

На дерново-подзолистых почвах кукуруза хорошо реагирует на внесение цинковых удобрений. Почвенный цинк при известковании и внесении большого количества фосфорных удобрений переходит в труднодоступное для растений состояние, а при выращивании кукурузы на постоянных участках (выводных полях) выносятся из почвы с высокими урожаями. При недостатке цинка у кукурузы отмечается хлороз верхних листьев, задерживается деление клеток, рост растений, появляется карликовость (рис. 54).



Рисунок 54 – «Белые ростки» кукурузы при Zn-дефиците (W. Bergmann, 1983).

В качестве цинковых удобрений используют сульфат цинка, отходы промышленности (ПМУ-7, силикатный цинк, шлаки медеплавильных заводов), а также аммофос с цинком.

Сульфат цинка используют для некорневой подкормки и предпосевной обработки семян, аммофос – для основного и рядкового удобрения, отходы промышленности – в качестве основного удобрения.

При содержании подвижных соединений бора в легких почвах менее 0,2, а в суглинистых – менее 0,3 мг/кг почвы растения кукурузы испытывают дефицит бора (рис. 55).



Рисунок 55 – Початки кукурузы при дефиците бора (W. Bergmann, 1983)

По данным многочисленных опытов, проведенных на различных почвах с низким содержанием бора, установлено значительное повышение урожайности кукурузы (на 4–8 т/га) и улучшение кормовых достоинств ее зеленой массы при внесении борных удобрений. Их можно использовать при предпосевной обработке семян и некорневой подкормке в фазе выметывания метелок (борная кислота), вносить в почву весной до посева кукурузы (бормагниеовое удобрение, борный суперфосфат) или в рядки при посеве семян (борный суперфосфат).

Вреден не только недостаток, но и избыток бора в почве. Содержание его более 30 мг/кг почвы является причиной тяжелых заболеваний не только растений, но и животных. Признаки токсичности бора проявляются на растениях в виде краевого некроза, пожелтения и отмирания нижних листьев.

2.5.8 САХАРНАЯ СВЕКЛА

Сахарная свекла – культура требовательная к почвенным условиям. Основные посевы ее размещаются в Центрально-Черноземной зоне России. Вегетационный период сахарной свеклы – 135–150 дней.

Лучшими для нее являются почвы с мощным гумусовым горизонтом и нейтральной реакцией среды. Наиболее благоприятный интервал рН почвы для сахарной свеклы – 6,5–7,5. В условиях Нечерноземной зоны сахарная свекла с успехом выращивается как кормовая культура. Она дает больше кормовых единиц, чем другие кормовые культуры, так как содержит 16–18% сахара. На кислых почвах – сильно нуждается в известковании.

Сахарная свекла исключительно требовательна к питательным веществам. Потребность ее в элементах питания в 3 раза выше, чем у зерновых культур. Поэтому в районах свеклосеяния ее посевы размещают на мощных и выщелоченных черноземах, темно-серых лесных почвах суглинистых по гранулометрическому составу, в Нечерноземной зоне – на пойменных перегнойно-карбонатных и серых лесных почвах. Сахарная свекла плохо развивается на бедных песчаных и тяжелых глинистых почвах.

Развитие сахарной свеклы можно разбить на три периода: формирование листового аппарата, рост корня, накопление сахара.

Поглощение питательных элементов сахарной свеклой происходит на протяжении всего времени роста и развития и характеризуется неравномерностью (табл. 28).

Таблица 28 – Поступление элементов питания в растения сахарной свеклы, в % к максимальному (По данным Рамонской опытной станции)

Элемент питания	Дата наблюдения						
	10.06	18.07	23.07	15.08	1.09	20.09	5.10
N	20	54	72	91	98	100	91
P ₂ O ₅	13	35	50	66	74	98	100
K ₂ O	16	46	53	72	73	93	100

В Нечерноземной зоне потребность в питательных элементах у нее выше, чем в Черноземной зоне, так как формируется бóльшая масса листьев в расчете на единицу массы корнеплодов.

Система удобрения сахарной свеклы приведена на рисунке 56.

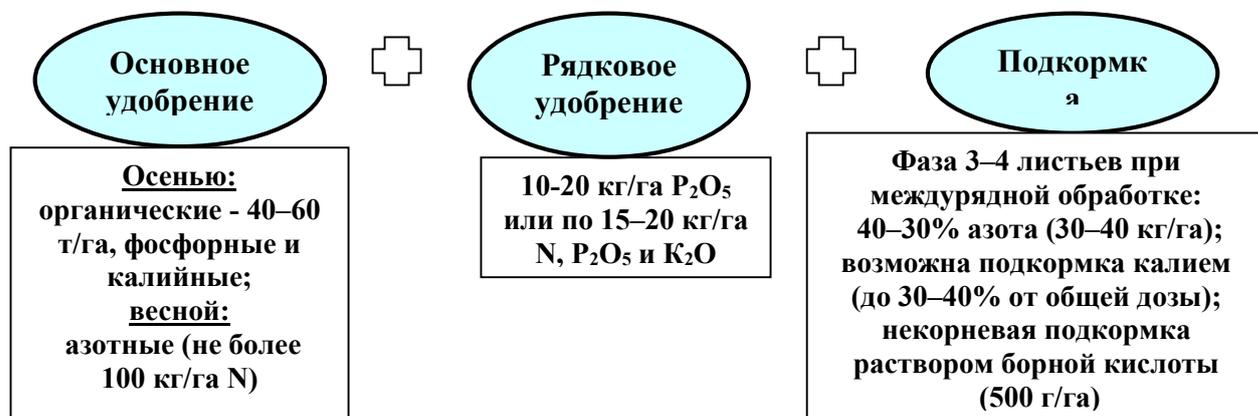


Рисунок 56 – Схема системы удобрения сахарной свеклы

В начале роста свекла поглощает относительно небольшое количество азота, фосфора и калия, однако в это время она очень чувствительна к недостатку в почве фосфора. Внесение на дерново-подзолистых и серых лесных почвах 10–15 кг/га, а на черноземах – 15–20 кг/га фосфора в рядки при посеве создает благоприятные условия питания этим элементом в первые 15–20 дней после всходов. Одновременно с фосфором можно внести и азот с калием (в виде комплексного удобрения), особенно на бедных этими элементами почвах.

В период интенсивного роста листьев свекла потребляет много азота и калия. Для формирования корнеплодов с высоким содержанием сахаров растениям требуется умеренное азотное и усиленное фосфорно-калийное питание.

К концу вегетации происходит некоторая потеря питательных элементов главным образом за счет усыхания и опадения листьев.

Из-за длительного вегетационного периода и активного усвоения питательных веществ сахарная свекла хорошо отзывается на внесение органических удобрений. Лучше использовать полуперепревший подстилочный навоз или торфонавозные компосты в дозах 20–40 и до 60 т/га.

Урожайность повышается с увеличением доз органических удобрений. Лучше их вносить с осени под зяблевую вспашку. Хорошее действие органические удобрения оказывают на свеклу при внесении под предшествующую культуру.

Высока эффективность и минеральных удобрений. Удобрения необходимо вносить в дозах, дифференцированных с учетом почвенного плодородия и планируемого урожая. Особенно высока эффективность азотных удобрений. Каждый килограмм азота в Нечерноземной зоне способствует получению дополнительно 50–60 кг корнеплодов. Однако для получения высококачественной продукции дозы азота не должны превышать 130–140 кг/га, так как избыточное азотное питание приводит к накоплению в корнеплодах аммонийного азота, к снижению чистоты клеточного сока, что в результате уменьшает выход сахара. Повышенные дозы азотных удобрений рекомендуется вносить дробно – 90–100 кг/га в основное внесение и 30–40 кг/га в подкормку после прорывки во время первого междурядного рыхления. Эффективность подкормок в районах свеклосеяния зависит от влажности почвы в период вегетации и от фона основного удобрения. При слабом основном удобрении роль подкормки повышается.

Значение отдельных видов минеральных удобрений на разных почвах неодинаково. На слабовыщелоченных обыкновенных и мощных черноземах лучше действуют фосфорные удобрения, на выщелоченных черноземах, серых лесных и подзолистых почвах сильнее проявляется действие азотных и калийных удобрений. Эффективность минеральных удобрений возрастает в условиях орошения.

Лучшие формы удобрений для свеклы – нейтральные и физиологически щелочные. Калийные соли имеют преимущество перед концентрированным хлористым калием из-за наличия в них солей натрия, магния и микроэлементов.

Совместное внесение органических и минеральных удобрений обеспечивает более высокую урожайность сахарной свеклы. Известковые, органические, фосфорные и калийные удобрения вносят осенью, а азотные в

зонах достаточного увлажнения и орошения – весной под предпосевную культивацию.

Сахарная свекла относится к культурам с высокой чувствительностью к недостатку бора. При его недостатке свекла страдает гнилью сердечка (рис. 57), снижается сахаристость корнеплодов, уменьшается урожайность.

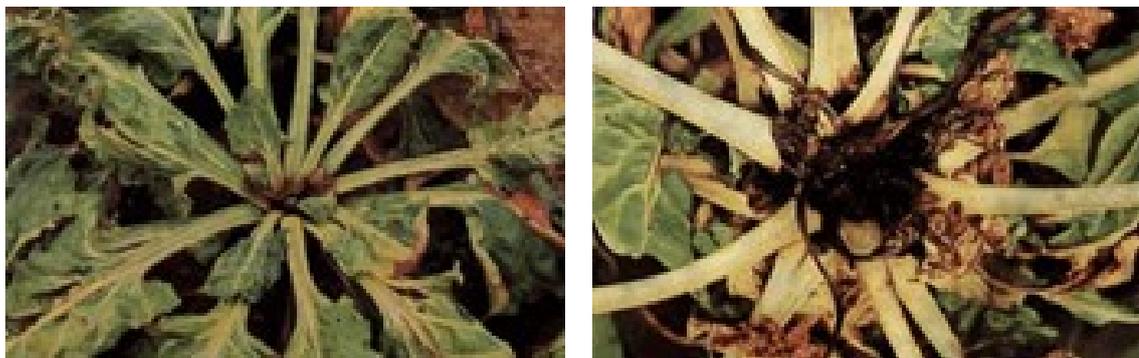


Рисунок 57 – «Гниль сердечка» на сахарной свекле при дефиците бора (W. Bergmann, 1983)

Борсодержащие удобрения повышают урожайность и содержание сахара в корнеплодах на 0,4–1%. Лучшим приемом внесения бора является некорневая подкормка борной кислотой (500 г/га) в фазе 3–4 настоящих листьев. Можно использовать предпосевную обработку семян порошком, содержащим бор (смесь борной кислоты с тальком).

2.5.9 КОРМОВЫЕ КОРНЕПЛОДЫ

Кормовые корнеплоды (кормовая свекла, кормовая морковь, брюква, турнепс) лучше удаются на богатых органическим веществом почвах с глубоким пахотным слоем. Наиболее требовательна к плодородию почвы кормовая свекла и морковь, менее требовательны – брюква и турнепс.

Кормовые корнеплоды имеют слаборазвитую корневую систему, но выносят из почвы много питательных элементов. Это калиелюбивые культуры. Так, кормовая свекла выносит калия почти в 2 раза больше, чем азота, и в 7 раз

– чем фосфора. С 1 т корнеплодов и соответствующим количеством ботвы кормовая свекла выносит 3,5 кг азота, 1,1 – фосфора и 7,9 кг калия.

Поглощение питательных элементов кормовыми корнеплодами, также как картофелем, неравномерное и продолжается длительный период. В начале роста и развития у растений формируется ассимиляционный аппарат. В это время ощущается большая потребность в азоте. До середины вегетационного периода поступление питательных веществ в растения значительно опережает прирост сухого вещества. В дальнейшем темпы прироста органического вещества увеличиваются за счет роста корней. Фосфор поглощается равномерно на протяжении всего периода развития, а калий активно усваивается при формировании корнеплода. При длительном поглощении питательных элементов эффективны поздние подкормки.

Наиболее рациональная система удобрения кормовых корнеплодов – органо-минеральная (рис. 58). В расчете на 1 т навоза кормовая свекла дополнительно дает 200 кг корнеплодов, а на 1 кг NPK минеральных удобрений – 65 кг. Наиболее отзывчив на минеральные удобрения турнепс, так как у него вегетационный период короче.

Для получения высоких урожаев корнеплодов (70–80 т/га) под кормовую свеклу необходимо внести 80–90 т/га органических удобрений. Лучшим сроком внесения является осень. Внесение весной повышает засоренность посевов, не обеспечивает разложения органического вещества, что снижает уровень урожайности.



Рисунок 58 – Схема распределения удобрений под кормовую свеклу

Расчет доз минеральных удобрений определяют с учетом плодородия почвы, уровня планируемого урожая, последствий ранее внесенных удобрений. Под корнеплоды можно вносить любые формы азотных и фосфорных удобрений. Среди калийных удобрений 40%-ная калийная соль является лучшей формой из-за содержания в ней натрия.

Кормовая свекла способна в больших количествах накапливать в корнеплодах нитратный азот, в связи с этим, под нее рекомендуется вносить не более 160 кг/га азота.

На нейтральных почвах кормовая свекла нуждается в боре, при недостатке которого появляется гниль сердечка и дуплистость корнеплода. Бор вносят в дозе 0,5–0,8 кг/га в почву или при некорневой подкормке в фазе 3–4 листьев – 200 г/га раствора борной кислоты растворенной в 300 – 400 л/га воды (расход на 1 га). На черноземных почвах используют некорневую подкормку растений раствором сульфата марганца (0,22 кг/га).

Под урожайность брюквы и турнепса 35–40 т/га рекомендуется вносить 40–60 т/га органических удобрений, а также минеральные: N80–90, P50–60, K80–90.

2.5.10 ОДНОЛЕТНИЕ И МНОГОЛЕТНИЕ ТРАВЫ

Однолетние травы используются для получения зеленого корма, силоса, сенажа, сена или семян и возделываются на разных по гранулометрическому составу почвах. Однолетние травы можно разделить на три группы: бобово-злаковые смеси (вика-овес, горох-овес, люпин-овес, пелюшка-овес и др.), крестоцветные (редька масличная, горчица, сурепица, рапс) и злаковые (райграс однолетний). Широко практикуются также различные комбинации травосмесей (например, вика-овес-райграс, вика-овес-горчица и т.д.). В чистом виде высеваются также люпин, сераделла, амарант и фацелия. При этом однолетние травы в севообороте могут использоваться как основная или как промежуточная культура.

Широко распространены горохоовсяные и викоовсяные смеси. Они дают хорошие урожаи в год посева, обладают высокой питательной ценностью, их можно высевать несколько раз за весенне-летний период. В районах, где рано убирают основную культуру, поукосные и пожнивные посевы горохо- и викоовсяных смесей дают по 12–15 т/га зеленой массы, а тройные смеси с подсолнечником и райграсом однолетним – до 20 т/га.

Однолетние травы хорошо отзываются на внесение минеральных удобрений. Средний вынос элементов питания с 1 т зеленой массы составляет: азота – 4,5, фосфора – 1,3, калия – 4,3 кг. Крестоцветные с 1 т зеленой массы в среднем выносят 4,4 кг азота, 0,9 кг фосфора и 5,0 кг калия; райграс однолетний – соответственно 3,9 кг азота, 1,7 кг фосфора и 9,2 кг калия.

Оптимальная доза азотных удобрений под бобово-злаковые смеси составляет 60–80 кг/га д. в. увеличение доз азота не приводит к адекватному росту продуктивности и ухудшает качество корма (в первую очередь повышает содержание нитратов). Поскольку бобово-злаковые травосмеси являются хорошим предшественником под озимые зерновые культуры, то под них рекомендуется внесение органических удобрений в дозах 30–40 т/га. При возделывании райграса однолетнего в чистом виде оптимальная доза азотных удобрений соответствующая 100–110 кг/га азота. Под крестоцветные культуры рекомендуется внесение 90–100 кг/га азота.

Однолетние бобовые травы отзывчивы на фосфорно-калийное удобрение. Для получения 30 т/га зеленой массы применяют 40–60 кг/га P_2O_5 и 80–100 кг/га K_2O , осенью под зяблевую вспашку почвы. Эти удобрения повышают жизнедеятельность клубеньковых бактерий и способствуют лучшему усвоению азота из воздуха.

Азотные удобрения применяют только на слабокультуренных почвах весной во время предпосевной обработки почвы (20–30 кг/га азота).

Вносить азотные, фосфорные и калийные удобрения в расчетных дозах следует весной под предпосевную обработку почвы.

При посеве в рядки вносят 10–15 кг/га P_2O_5 в виде суперфосфата.

На дерново-подзолистых, особенно кислых, почвах значительно повышает урожайность однолетних бобовых трав предпосевная обработка семян молибдатом аммония (25–50 г/ц семян).

На бедных бором почвах в предпосевную обработку следует внести 50 – 60 кг/га бормагниевого удобрения или при посеве – 0,5–0,7 ц/га борного суперфосфата.

Под культуры семейства капустных и райграс однолетний в среднем на 1 га вносят на 80–100 кг азота, 60–80 – фосфора и 90–120 кг калия.

К однолетним травам нередко подсевают многолетние травы.

Многолетние травы (бобовые в чистом виде или в смеси со злаковыми травами) возделываются в полевых и кормовых севооборотах, а также на лугах и пастбищах. По сравнению с другими кормовыми культурами они наиболее экономичны вследствие многолетнего многоукосного использования, высокой питательности корма и возможности полной механизации возделывания и уборки. Их высевают преимущественно под покров яровых или озимых зерновых культур, а также однолетних трав.

Из многолетних трав первостепенное значение имеют бобовые: клевер луговой и розовый, люцерна, донник, козлятник (галега восточная), а из злаковых – тимофеевка луговая, овсяница луговая, ежа сборная. Многолетние травы (бобовые и злаковые) эффективнее возделывать в чистом виде. Это позволяет более рационально использовать минеральные азотные удобрения и потенциал симбиотической азотфиксации.

Суммарные затраты на возделывание клевера в 2,2 раза меньше, чем злаков, а сбор кормовых единиц в 1,4 и переваримого белка в 1,8 раза выше. Клеверное сено при ранней уборке намного превосходит злаковое не только по содержанию протеина, но и многих аминокислот. Так, в 1 кг злакового сена содержится в среднем 6 г лизина, 1 г триптофана, 5 г аргинина, а в клеверном – соответственно 9; 3; 8 г.

Кроме кормового значения, клевер играет большую роль в повышении плодородия почв. Биологически связанный бобовыми культурами азот не

весь отчуждается с урожаем, значительная часть его остается с корневыми и пожнивными остатками в почве.

Благодаря клубеньковым бактериям, многолетние бобовые травы около 2/3 потребляемого азота способны усваивать из воздуха. Клевер, получивший фосфорные и калийные удобрения, способен накопить 140–300 кг/га симбиотического азота, что равноценно внесению 4–9 ц аммиачной селитры и позволяет получать высокие урожаи последующих культур. Коэффициент азотфиксации клевера в зависимости от скороспелости и уровня плодородия почв составляет 55–67 %. Азотные удобрения под него не вносят. Исключение составляют клеверо-злаковые смеси с небольшим участием клевера.

Клевер, как правило, высевают под покров озимой ржи, ячменя или однолетних трав. В этом случае доза азота под покровную культуру не должна превышать 60 кг/га д. в.

Многолетние бобовые травы более требовательны к плодородию почвы, чем злаковые. С урожаями 5–7 т/га сена клевер выносит из почвы 30–65 кг фосфора, 70–120 – калия, 120–170 – кальция, 36–52 кг магния. Злаковые травы потребляют значительно больше азота и калия из почвы, чем бобовые, и более устойчивы к кислотности почвы.

Клевер не выдерживает кислую реакцию среды. При pH_{KCl} ниже 5 и содержании подвижных форм марганца и алюминия более 2 мг/100 г почвы он плохо растет, изреживается при перезимовке, урожай семян и сена снижается. Об эффективности известкования можно судить по данным Смоленской государственной областной опытной станции и Белорусского НИИ земледелия (табл. 29).

При посевах клеверо-злаковых травосмесей известкование и применение фосфорно-калийных удобрений повышают не только урожайность, но и сохранность в них клевера (табл. 30).

Корневая система клевера обладает способностью усваивать фосфор из труднорастворимых соединений, которая с возрастом повышается.

Таблица 29 – Эффективность известкования почв при выращивании клевера

Вариант	Урожайность ц/га	Прибавка	
		ц/га	%
Смоленская областная сельскохозяйственная опытная станция			
Контроль	89,0	-	-
Известь, 1,5 Нг	125,7	36,7	41
БелНИИЗ			
Контроль	50,9	-	-
Известь, 1,5 Нг	114,5	63,6	125

Клевер хорошо реагирует на внесение магниевых удобрений на легких песчаных и супесчаных почвах, медных – на торфяных, молибдена – на многих дерново-подзолистых почвах.

Таблица 30 – Влияние извести на урожай сена многолетних трав и доля в нем клевера

Показатель	Контроль	Прибавка урожая сена (ц/га)		
		РК	известь	РК + известь
Урожай сена, ц/га	18,6	15,0	29,5	35,9
Клевера в сене, %	25,6	26,0	62,7	80,8

При покровном возделывании многолетних трав предназначенное для них основное удобрение (50–60 кг/га фосфора и 60–80 – калия) вносят под покровную культуру (в запас), при посеве – суперфосфат (10–15 кг/га P_2O_5), затем проводят подкормки трав в первый и второй годы их использования. Клевер хорошо отзывается на внесение навоза, компостов (до 20 т/га) под покровную культуру (или 40–60 т/га – под ее предшественник).

После уборки покровной культуры травы быстро отрастают и чувствительны к недостатку в почве фосфора и калия, особенно клевер, так как его корневая система в это время слабо усваивает фосфор из труднорастворимых соединений. Если удобрения под покровную культуру не применяли или их было внесено недостаточно, то после ее уборки травы необходимо подкормить фосфором и калием. Подкормки наиболее целесообразны в ранние сроки жизни многолетних трав. Своевременное поверхностное внесение фосфорно-калийных удобрений укрепляет вышедшие из-под покрова ослабленные растения клевера, повышает их зимостойкость и

урожайность в последующие годы. На дерново-подзолистых почвах в это время вносят 30 кг/га фосфора и 50–60 – калия (под семенники – по 50–60 кг/га фосфора и калия).

Лучшее фосфорное удобрение для поверхностного внесения – суперфосфат, а для основного под покровную культуру – фосфоритная мука. Из калийных удобрений – сульфат калия, калимагнезия, хлористый калий.

Следует учитывать, что доля клевера в травостое на второй год пользования травами может снижаться (до 30–40%), поэтому возрастает потребность в азотных удобрениях. Подкормки азотом проводят рано весной и после укосов (40–60 кг/га). Азот играет важную роль в повышении урожаев и качества злаковых трав.

Из микроэлементов для клевера важен бор и молибден. В качестве молибденового удобрения используют молибденизированный суперфосфат или молибдат аммония. Последний применяют для некорневой подкормки растений (50–100 г/га) или при предпосевной обработке семян (20–50 г на гектарную норму семян). Из борных удобрений для предпосевной обработки семян используют борную кислоту (200–300 г/ц семян). Обработку микроэлементами совмещают с обработкой ризоторфином.

При выращивании злаковых трав органические удобрения (30–40 т/га) вносят под покровную культуру или предшественник, фосфор и калий – в запас под покровную культуру или, если их не внесли, – в подкормку осенью или рано весной вместе с азотом (N50–70 P40–50 K50–60). Под второй укос многолетних трав вносят только азот (40–50 кг/га).

Схема распределения удобрений при выращивании многолетних трав в полевых севооборотах приведена на рисунке 59.

При удобрении многолетних трав, выращиваемых на лугах и пастбищах, необходимо учитывать соотношение бобовых и злаковых трав в травостое, способ использования кормового угодья, плодородие почвы, условия увлажнения.

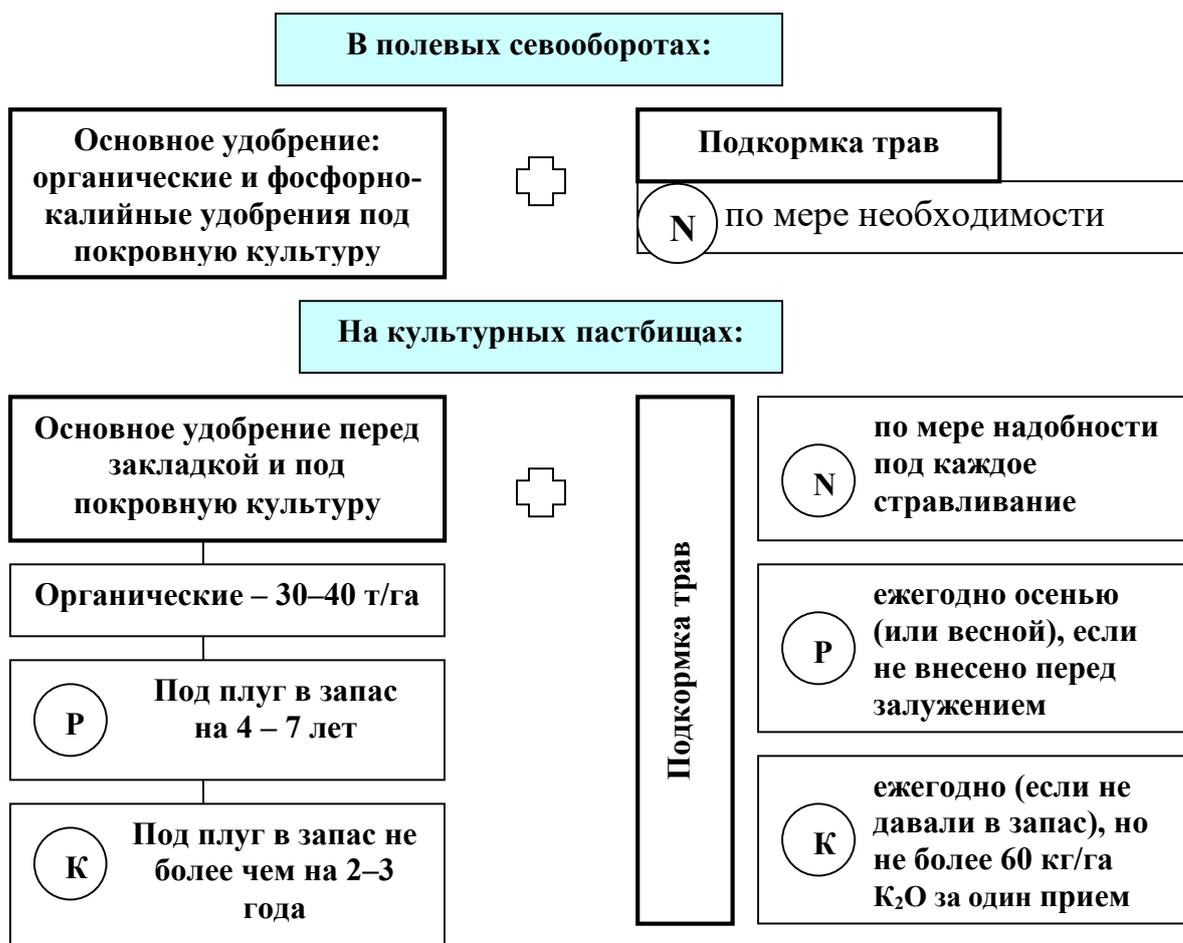


Рисунок 59 – Схема распределения удобрений под многолетние травы

Например, на лугах и пастбищах со злаковым травостоем решающим фактором роста урожая являются азотные удобрения, в то время как они отрицательно влияют на устойчивость бобовых в бобово-злаковых травостоях. Для травосмесей с бобовыми эффективнее фосфорные и калийные удобрения, особенно на торфяно-болотных почвах. Внесение азотных удобрений способствует увеличению доли злаковых в травостое и снижению доли бобового компонента, а фосфорные и калийные удобрения, наоборот, увеличивают долю бобовых в травостое.

В сене злаковых трав содержание протеина напрямую зависит от доз азота. В травосмесях, на 40–60% состоящих из бобовых трав, эта зависимость не отмечается, и на содержание сырого протеина в сене больше влияют фосфорные и калийные удобрения.

При пастбищном и сенокосном использовании кормовых угодий вынос питательных элементов травами существенно различается. По данным ВНИИ кормов при сенокосном использовании угодья вынос азота урожаем 36 ц/га составил 49,6 кг, а при пастбищном – 91,5 кг.

Действие удобрений зависит от типа сенокоса/пастбища и плодородия почвы. Например, более высокое действие фосфорных удобрений отмечается на низинных лугах и лугах, расположенных на торфяных почвах, а низкое – на суходольных и заливных лугах. На сеяных лугах и пастбищах действие удобрений выше, чем на природных. Но если травостой естественных кормовых угодий не засорен, особенно на заливных лугах, систематическое удобрение резко повышает урожайность трав.

Дозы минеральных удобрений могут изменяться в широких пределах.

На лугах с минеральными почвами удобрения вносят из расчета по 30–40 кг/га азота, фосфора и калия. Луга на осушенных торфяниках, а также бобово-злаковые травосмеси нуждаются в более высоких дозах питательных элементов – до 60–120 кг/га.

Наиболее результативный способ повышения продуктивности сенокосов и пастбищ – их *коренное улучшение*, которое связано с проведением культуртехнических работ, вспашки, известкования, (если почвы кислые), внесением в запас высоких доз органических и минеральных (фосфорных и калийных) удобрений, а также азотных удобрений под покровную культуру, проведением подкормок трав.

Луговые травы лучше всего растут при pH_{KCl} 5,5–7, поэтому кислые почвы необходимо известковать. При pH_{KCl} 4–4,5 культурные виды трав вытесняются дикими злаками (щучкой дернистой, полевицей обыкновенной и др.). Это приводит к необходимости перепашки луга и повторного залужения.

Известкование способствует развитию бобового компонента, вытесняющего разнотравье, которое приспособлено к кислой почве и не выдерживает конкуренции с бобовыми травами. Доза $CaCO_3$ на минеральных почвах в зависимости от pH_{KCl} и гранулометрического состава колеблется от 2,5

до 9 т/га, на торфяных – от 5 до 13 т/га. Лучше использовать известковый материал, содержащий магний (например, доломитовую муку).

При коренном улучшении сенокосов и пастбищ вносят от 20 до 40–60 т/га навоза или компостов, фосфорные и калийные удобрения (фосфоритную муку в запас на 4–7 лет и калийные – на 2–3 года). Рано весной и после каждого стравливания (скашивания) проводят подкормки азотом. По данным ВИУА наиболее эффективно использование в подкормках аммиачной селитры. Если перед залужением фосфорно-калийные удобрения не были внесены в запас, то проводят подкормки и этими удобрениями. Лучшей формой фосфорного удобрения при подкормках является суперфосфат, калийного – любое. Можно использовать комплексные удобрения – нитрофоску, нитроаммофоску, азофоску.

2.5.11 ОВОЩНЫЕ КУЛЬТУРЫ

Овощные культуры выносят много питательных элементов. Из почвы они усваивают 5–10% фосфора, 30–60% калия, а из минеральных удобрений – 50–70% азота, 15–30% фосфора и 60–80% калия. Интенсивность поглощения питательных веществ у овощных культур различна: наибольшая – у капусты; медленно поглощают их лук, морковь, столовая свекла; промежуточное положение занимают томаты. Наиболее короткий вегетационный период у редиса, салата и шпината.

Отношение овощных культур к концентрации солей в почве – неодинаковое. Наиболее чувствительны к ней, особенно на минеральных почвах, лук и чеснок, поэтому под них лучше сочетать небольшие дозы минеральных удобрений с органическими. На торфяных почвах повышенная концентрация солей не так вредна, так как эти почвы имеют высокую емкость поглощения и буферную способность. Свекла, томаты, морковь хорошо переносят минеральные удобрения, и их целесообразно размещать после удобренных навозом предшественников.

Овощные культуры чувствительны к кислотности почвы, наличием в ней подвижных форм алюминия и марганца. Обычно оптимум pH_{KCl} минеральных почв для них составляет 6,0–7,5. Томат, редька и репа более устойчивы к кислотности, чем капуста, свекла, огурцы, морковь, бобы, сельдерей, лук, чеснок, фасоль. Капуста на кислых почвах сильно поражается килой. Эта культура очень чувствительна к содержанию в почве подвижных форм алюминия и марганца, поэтому на торфяных почвах, содержащих незначительное количество этих соединений, она удается даже при pH_{KCl} 4,5.

Отзывчивость овощных культур на удобрения неодинакова. Капуста белокочанная, краснокочанная, брюссельская, китайская, листовая, укроп, салат, шпинат и ревень предъявляют повышенные требования к азоту.

Наиболее требовательными культурами к уровню фосфорного питания являются капуста кочанная, цветная, брюссельская, цикорий, тыква, морковь, сельдерей, хрен.

Наибольшей требовательностью к калию среди овощных культур отличаются капуста белокочанная, цветная, свекла столовая, морковь столовая, тыква, кабачок. Меньшая потребность – у томата, огурца, чеснока, редьки, шпината. Слабая отзывчивость на калийные удобрения у щавеля, салата, лука (на перо).

Основное количество органических и фосфорно-калийных удобрений под овощные культуры вносят осенью под зяблевую вспашку, азотные – весной. Эффективно внесение удобрений при посеве в рядки, особенно при выращивании мелкосемянных и ранних культур (редис, салат, шпинат, укроп, морковь, свекла). Под морковь и лук вносят только фосфорные удобрения, а под огурцы, свеклу, томаты, капусту белокочанную – полное минеральное удобрение.

Если до посева были внесены не все удобрения, возможна подкормка растений азотными удобрениями, а при необходимости – и полным удобрением во время междурядной обработки почвы культиватором-растениепитателем.

При первой подкормке удобрения вносят на расстояние 6–8 см от растений на глубину 5–8 см, при второй – в середину междурядья на глубину 10–12 см.

Капуста белокочанная потребляет питательные вещества на протяжении всего вегетационного периода (от 60 до 140 дней, в зависимости от сорта). В первый месяц после высадки рассады она растет медленно и поглощает всего около 10% азота, 7 фосфора и 8% калия. Наибольшее количество питательных элементов (около 80% азота, 86 фосфора и 84% калия от общей потребности) она поглощает в период формирования кочана (40–50 дней).

В зависимости от плодородия почвы и величины планируемой урожайности (40–60 т/га) дозы минеральных удобрений при внесении 40 т/га навоза под капусту колеблются: азота – от 60 до 120 кг/га, фосфора – от 30 до 120, калия – от 30 до 150 кг/га.

Навоз, фосфорные и калийные удобрения под капусту вносят осенью или весной под вспашку, азотные – весной, незадолго до высадки рассады. Это удобрение удовлетворяет потребности растений в питательных элементах в течение всего периода роста и развития, и, главным образом, в период максимального поглощения.

При высадке рассады эффективно использование небольшой дозы полного удобрения (по 10–15 кг/га N, P₂O₅ и K₂O), лучше комплексного (нитрофоски, нитроаммофоски и др.). Это удобрение обеспечивает растения питанием в течение первого месяца и способно повысить урожайность капусты на 5 т/га.

При планировании высоких урожаев средне- и позднеспелых сортов (более 60 т/га), а также при выращивании ее на легких почвах проводят подкормки капусты азотными и калийными удобрениями (при этом лучше использовать калийные удобрения, содержащие магний). Целесообразно через три недели после высадки рассады провести некорневую подкормку капусты раствором макро- и микроэлементов. Для этого в 400 л воды (расход на 1 га) растворяют 6 кг мочевины, 3 кг сульфата калия, 4 кг сульфата магния и по 50 г молибдата аммония, сульфатов цинка, меди и железа.

Столовые корнеплоды (морковь, свекла). В расчете на 1 т урожая морковь на дерново-подзолистых почвах выносит 2,3 кг азота, 1,0 кг фосфора и 3,8 кг калия, свекла – 2,7, 1,5 и 4,3 кг, соответственно. Это калиелюбивые культуры. Соотношение основных питательных элементов (N:P₂O₅:K₂O) в урожае моркови составляет 1:0,4:1,6, свеклы – 1:0,56:1,6.

Динамика поглощения их прямо пропорциональна нарастанию сухой биомассы. Наилучшее обеспечение растений питанием отмечается при сочетании внесения удобрений в разные сроки и на разную глубину.

В первый период роста морковь и свекла поглощают небольшое количество питательных элементов. В это время питание идет из неглубоких слоев почвы, где расположены удобрения, внесенные при посеве. Наибольшее количество питательных элементов корнеплоды поглощают в период интенсивного роста. Питание в это время обеспечивается удобрением, внесенным под глубокую обработку почвы осенью или ранней весной до посева (основное удобрение).

Морковь и свекла хорошо растут на почвах со слабокислой и нейтральной реакцией и положительно отзываются на известкование более кислых почв. При известковании снижается подвижность многих микроэлементов, в том числе бора, при недостатке которого столовая свекла поражается «гнилью сердечка» снижается урожайность корнеплодов.

Морковь отрицательно реагирует на высокие концентрации почвенного раствора.

Предельная доза азота под морковь 90 кг/га (на торфяниках – 30–40 кг), столовую свеклу – 90 кг/га (на торфяниках – 40–70 кг). При более высоких дозах ухудшается качество корнеплодов, происходит накопление в них нитратов.

Столовые корнеплоды положительно реагируют на натрий, поэтому калийная соль имеет преимущество перед другими калийными удобрениями.

Наилучшее обеспечение растений питанием имеет место при внесении удобрений в разные сроки и на разную глубину.

Морковь и свекла отзывчивы на перепревший навоз. Свежий навоз использовать нельзя, так как возможно ветвление корнеплодов, ухудшение их формы, особенно у моркови, снижение лежкости при хранении и товарной ценности продукции. Поэтому столовые корнеплоды рекомендуют размещать на второй год после внесения органических удобрений.

Система удобрения корнеплодов складывается из основного удобрения и небольших доз минеральных удобрений, внесенных в рядки вместе с высевом семян. На дерново-подзолистых почвах со средней обеспеченностью подвижными формами питательных элементов под морковь вносят P45–60 K60–90 осенью под вспашку, N45–60 – весной под культивацию, N10P10K10 – в рядки при посеве; под столовую свеклу – соответственно: P60–80 K120–140, N90 и N10P10K10. На легких почвах фосфор основного удобрения вносят осенью под вспашку, азот и калий – весной под культивацию. Лучшим калийным удобрением в данном случае является калимагнезия, в нем кроме калия есть и магний.

На посевах свеклы можно проводить две, а моркови – одну подкормку минеральными удобрениями. Первую подкормку моркови проводят – через две-три недели после всходов. Столовую свеклу первый раз подкармливают при появлении одного–двух настоящих листочков, вторую – в начале формирования корнеплода.

Огурец имеет короткий вегетационный период (от 40 до 75 дней в зависимости от сорта), слабую корневую систему с интенсивным потреблением питательных элементов, расположенную, в основном, в верхнем слое почвы.

Динамика поглощения питательных элементов зависит от интенсивности накопления растениями сухой биомассы. Первые 15–20 дней жизни растения огурца поглощают небольшое количество азота, фосфора и калия, а в период интенсивного роста вегетативных органов и образования плодов поглощение питательных элементов максимальное. В расчете на 1 т плодов с учетом вегетативной биомассы огурец выносит 3,0–3,2 кг азота, 1,5–1,9 – фосфора и 4,4–4,5 кг калия.

Огурец очень чувствителен к концентрации солей в почвенном растворе, поэтому под него лучше использовать органические удобрения, на повышенные дозы которых он очень отзывчив. Лучше использовать свежий навоз, так как он улучшает тепловой режим, усиливает микробиологическую активность почвы, повышает снабжение растений углекислотой, которая хорошо усваивается стелющимися стеблями и листьями при выращивании огурца в полевых условиях.

Хороший эффект дает сочетание органических удобрений с минеральными (лучше использовать высококонцентрированные удобрения).

Система удобрения огурца на почвах со средним содержанием подвижных форм питательных элементов складывается из трех звеньев – основного, рядкового удобрения и подкормки. Навоз (40–60 т/га) и фосфорно-калийные удобрения (Р60К60–90) лучше вносить осенью под вспашку, азотные (N60) – весной под культивацию, при посеве – N10P10K10, в фазу двух–трех листьев – N20–30 в подкормку (прикорневую). На легких почвах все основное удобрение вносят весной под предпосевную обработку почвы. Предельно допустимая доза азота под огурцы – 90 кг/га, ее повышение приводит к накоплению в плодах нитратов. ПДК нитратов в плодах огурца открытого грунта 150, защищенного – 300 мг/кг сырой массы.

При высоком и очень высоком содержании питательных элементов в почве под огурец используют только органические удобрения и минеральный азот, а рядковое удобрение и подкормки – неэффективны.

Хороший эффект дает обработка семян 0,1%-ным раствором борной кислоты.

Томат. Корневая система томата мочковатая, хорошо развитая, способная проникать на глубину 100–120 см и охватывать большой объем почвы.

Наиболее активно азот и калий растениями поглощаются в период интенсивного накопления органической массы. При избытке азотных удобрений быстро нарастает вегетативная масса, образуются пасынки, и затягивается созревание плодов. Если на плодах около плодоножки появляется

«зеленый воротник», это свидетельствует о недостатке питания растений калием или о несбалансированном азотно-калийном питании (с преобладанием азота). Плоды остаются неравномерно окрашенными и жесткими. Особенно недопустим избыток азота в начале роста растений, так как сильное развитие вегетативной массы ослабляет плодоношение.

Томат очень отзывчив на фосфорные удобрения. Поглощение фосфора заканчивается к окончанию нарастания листовой массы, когда начинают завязываться плоды. На фоне умеренного азотного питания фосфорно-калийные удобрения способствуют дружному созреванию плодов и улучшению их качества (накоплению сахаров, витамина С, снижению содержания нитратов). В плодах к созреванию накапливается до 70% азота и фосфора и до 90% калия от всего поглощенного растениями количества.

Томат потребляет немного питательных элементов и является калиелюбивой культурой. В расчете на 1 т плодов с учетом ботвы ранние сорта выносят 2,0–3,5 кг азота, 0,7–0,9 – фосфора и 4–5 кг калия, среднеспелые – соответственно: 3,0–4,0, 0,8–1,2 и 5,0–6,0 кг.

Оптимальный интервал кислотности почвы для томата соответствует pH_{KCl} 5,6–6,7. Растения томата плохо переносят избыток кальция и чувствительны к его недостатку. Известкование лучше проводить доломитовой мукой. При недостатке кальция на верхушках плодов томата образуется сухая гниль в виде черных округлых пятен.

При выращивании этой культуры важно правильно организовать питание растений в соответствии с их потребностями.

Система удобрения томата складывается из основного удобрения, припосевного (при выращивании рассадным способом) и подкормок. Под томаты можно вносить органические удобрения (30 т/га перегноя, перепревшего навоза или компоста). Хорошие урожаи получают и при размещении этой культуры по удобренному навозом предшественнику. На окультуренных почвах можно ограничиться только минеральными удобрениями, но органо-минеральная система удобрения имеет преимущество.

На почвах с низким содержанием микроэлементов используют микроудобрения (борные, цинковые, марганцевые). Часто появляется необходимость во внесении борных удобрений, особенно при известковании почв и на нейтральных почвах легкого гранулометрического состава. Бор повышает содержание в плодах сахаров и аскорбиновой кислоты. Борные удобрения вносят в почву до высадки рассады в дозах 1–2 кг/га бора. При некорневой подкормке используют 500 г/га борной кислоты в виде водного раствора.

Репчатый лук имеет слабо развитую корневую систему, поэтому он предъявляет повышенные требования к наличию в почве питательных элементов в доступной форме.

Репчатый лук хорошо растет на окультуренных супесчаных и легкосуглинистых почвах, на низинных торфяниках. Оптимальной для него является близкая к нейтральной реакция среды (pH_{KCl} 6–7).

В расчете на 1 т урожая лук выносит 3 кг азота, 1,3 – фосфора и 4 кг калия. Он чувствителен к повышенной концентрации солей в почве, в связи с этим минеральные удобрения следует вносить несколько раз, используя подкормки. В первой половине роста и развития лук использует больше азота, а во время формирования луковиц – фосфора и калия. Избыток азота во второй половине вегетации задерживает созревание луковиц. Для образования ароматических веществ луку необходима сера, поэтому лучшим азотным удобрением является сульфат аммония, а калийным – сульфат калия.

Самые высокие урожаи лука получают, когда его выращивают по последствию органических удобрений, а минеральные удобрения вносят в средних дозах. При внесении непосредственно под лук органические удобрения, особенно свежий навоз, вызывают сильный рост пера, задерживают вызревание луковиц, такой лук плохо хранится.

Система удобрения репчатого лука складывается из основного, припосевного удобрения и подкормки. Например, при выращивании лука на почвах со средней обеспеченностью питательными элементами и внесении под

предшественник 40–60 т/га компоста или навоза до посадки вносят по 90 кг/га азота и калия и 80 кг/га фосфора в виде минеральных удобрений. Это обеспечивает получение 20 т/га лука-репки. При посеве семян (чернушки) или посадке севка вносят 10–20 кг/га фосфора в виде суперфосфата. Если проводятся подкормки, то они должны быть в первой половине лета (иначе не вызревают луковицы): спустя месяц после посадки севком и 2–2,5 месяца после посева семян (20 кг/га азота и 30 кг/га калия).

2.5.12 ПЛОДОВЫЕ И ЯГОДНЫЕ КУЛЬТУРЫ

Для создания благоприятных условий минерального питания плодовых и ягодных культур за 1,5–2 года до их посадки проводят окультуривание почвы, которое предполагает известкование, внесение органических (80–100 т/га) и минеральных удобрений (90–100 кг/га фосфора и 100–120 – калия). Затем участок засевают многолетними травами, бобово-злаковыми смесями или сидеральными культурами.

В год закладки сада зеленую массу последнего укоса запахивают во время основной обработки почвы.

Возможна ускоренная закладка сада (без предварительного окультуривания почвы). В этом случае удобрения вносят при посадке саженцев в траншеи или посадочные ямы с последующим окультуриванием почвы в междурядьях. Под яблоню и грушу в яму вносят 30–40 кг перегноя или компостов, под вишню и сливу – 15–20, смородину – 8–10, крыжовник – 10–12 кг. При среднем содержании подвижных форм фосфора и калия в почве в посадочную яму вносят по 40 г P_2O_5 и K_2O , при низком – по 60 г, при повышенном и высоком – минеральные удобрения не вносят. Дозы фосфорных и калийных удобрений под сливу и вишню снижают в два раза по сравнению с семечковыми культурами.

Для ягодных кустарников (смородина, крыжовник) в посадочную яму вносят 20–30 г фосфора и 10–15 г калия. Дозы дифференцируют в зависимости от содержания этих элементов в почве.

При использовании траншейного способа посадки плодовых деревьев на 100 м траншеи для семечковых культур на дерново-подзолистых почвах органические удобрения укладывают полосой по линии будущей траншеи, фосфорные и калийные – лучше вносить на дно будущей траншеи. Дозы удобрений рассчитывают на питание молодых деревьев в первые два-три года.

При замедлении роста, весной под первое рыхление вносят азотные удобрения в дозе, соответствующей 50–60 кг/га азота.

Для оптимизации минерального питания плодовых культур проводят некорневые подкормки макро- и микроэлементами. Обработка раствором мочевины эффективна, когда ожидается высокий урожай. Опрыскивание проводят через 8–10 дней после цветения, используя для яблони 0,4–0,5%-ный раствор мочевины, для груши – вдвое слабее, для сливы – 0,6–0,8%-ный, для вишни – 0,4–0,8%-ный. При слабом поражении яблони розеточностью (дефицит цинка) эффективны двух–трехкратные некорневые подкормки 0,3–0,5%-ным раствором сульфата цинка.

При недостатке в почве бора уменьшается завязывание плодов, появляется их опробкование. Это можно устранить некорневыми подкормками 0,05%-ным раствором борной кислоты с расходом жидкости 800 л/га.

Черная смородина и крыжовник на хорошо заправленных почвах несколько лет не нуждаются в фосфорных и калийных удобрениях. Под них вносят только азотные удобрения (60 кг/га) до распускания почек. В год внесения органических удобрений (их вносят раз в два года) минеральные удобрения не применяют.

Малина очень отзывчива на внесение органических и минеральных удобрений. При хорошей предпосадочной заправке почвы в первые два–три года малину, как правило, не удобряют. Лишь при слабом росте растений в первый и второй год их подкармливают азотом (60 кг/га). В дальнейшем в период полного плодоношения вносят 90 кг/га азота, 60–90 кг/га фосфора и 90–120 кг/га калия. Более высокие дозы применяют на почвах слабо обеспеченных

питательными элементами. Лучшее время внесения азотных удобрений – весна (до рыхления почвы), фосфорных и калийных – осень.

Малина очень чувствительна к недостатку магния, особенно на легких почвах. Если до посадки малины провести известкование кислой почвы доломитовой мукой, то потребность в магнии будет удовлетворена.

Землянику возделывают в специальных севооборотах. Перед посадкой за 7–10 дней вносят 70–80 т/га органических удобрений (полуперепревший навоз или компост) и по 40–60 кг/га фосфора и калия. Дозу фосфорных и калийных удобрений можно увеличить до 100–120 кг/га (в запас на три года).

При хорошей заправке органическими и минеральными удобрениями на плантации первого и второго года удобрения не вносят. Но если растения весной отстают в росте, можно использовать подкормку азотом (30–40 кг/га). На второй год после сбора ягод проводят подкормку ($N_{30}P_{40}K_{90}$), на третий и последующий годы рано весной вносят 20–40 кг азота, а после сбора ягод и скашивания листьев – 40 кг/га фосфора и 40–50 кг/га – калия.

В начале роста эффективна подкормка растений раствором микроэлементов и мочевины (0,02%-ные растворы перманганата калия, борной кислоты и молибдата аммония и 0,2%-ный раствор мочевины). Повышает урожайность земляники двукратная обработка растений 0,01–0,02%-ным раствором сульфата цинка (в начале цветения и во время роста завязей).

Вопросы для самоконтроля

1. Расскажите об основных биологических особенностях растений, влияющих на разработку системы удобрения сельскохозяйственных культур.
2. Какие требования предъявляют разные культуры к кислотности почвы?
3. Назовите дозы рядкового удобрения под различные сельскохозяйственные культуры.
4. Какие виды диагностики используют при уточнении доз удобрений для подкормок озимых зерновых?
5. Под какие культуры эффективно дробное внесение азотных удобрений?
6. Расскажите об особенностях применения удобрений под озимые и яровые зерновые.
7. Под какие культуры нецелесообразно вносить органические удобрения и почему?

8. Назовите культуры, под которые целесообразно использовать повышенные дозы органических удобрений. Для каких культур лучшим является свежий навоз?
9. Расскажите об особенностях применения удобрений под лен, картофель и кормовые корнеплоды.
10. Какие факторы влияют на устойчивость бобового компонента в смешанном травостое многолетних трав?
11. Как применяют органические и минеральные удобрения под капусту, столовые корнеплоды и репчатый лук?
12. Что включает система удобрения огурцов и томатов?

2.5 ВЫРАЩИВАНИЕ РАСТЕНИЙ БЕЗ ПОЧВЫ

Метод выращивания растений без почвы на питательных средах известен давно. Впервые в России в 1896 году на Всероссийской промышленной выставке в Нижнем Новгороде К.А. Тимирязев демонстрировал растения нескольких видов, растущие в сосудах, заполненных раствором минеральных солей, с целью разъяснения их питания. Впоследствии ученый писал: *«Ничто не может сравниться с впечатлением, которое выносят люди, незнакомые с наукой, при виде могучих экземпляров ржи или овса, никогда не имевших под собой земли, выращенных в воде со щепоткой удобрительных солей»*. В те времена такой метод далее лабораторных научных исследований не получил распространения.

В 1929 году в Калифорнийском университете У.Ф. Герике осуществил промышленное выращивание овощных культур в водных растворах минеральных солей. Этот метод он назвал *гидропоникой* (от греческих слов *hydro* – вода и *ponos* – работа). Исследования, проведенные в начале XX века, показали, что растения можно выращивать без почвы в широких масштабах.

Большая работа по гидропонной технологии выращивания растений была проведена Д.Н. Прянишниковым и его учениками. С 1936 года в нашей стране по этой технологии начали выращивать овощные и цветочные растения в оранжереях.

В условиях гидропоники корневая система растений развивается на твердых бесплодных субстратах, в воде или во влажном воздухе (аэропоника). В качестве твердого бесплодного субстрата используют минеральную вату (гродан), керамзит, перлит, вермикулит, гранитный щебень, гравий, древесную кору и другие материалы.

Растения получают питание из питательного раствора, окружающего корни. Гидропоника позволяет регулировать условия выращивания растений: режим корневого питания, полностью обеспечивающий потребности растений в необходимых элементах; концентрацию углекислого газа в воздухе, наиболее

благоприятную для фотосинтеза; температуру воздуха и корнеобитаемого пространства; влажность воздуха; интенсивность и продолжительность освещения.

Более точная и быстрая оптимизация параметров корнеобитаемой среды достигается при использовании систем управления на базе микропроцессорной техники. К другим преимуществам гидропонного способа выращивания овощей относится:

- исключение трудоемких процессов, связанных с использованием почвогрунтов;
- возможность управлять процессами роста и развития;
- обеспечение максимального урожая благодаря точному контролю за питанием;
- экономное расходование воды, удобрений, энергии. Экономия минеральных удобрений достигает 40%;
- значительное улучшение условий труда овощеводов;
- возрастает коэффициент использования производственной площади;
- сохранение вкусовых качеств. Овощи, выращенные на гидропонике, ничем не отличаются от полученных в грунте.

Дополнительным преимуществом гидропонной технологии является практическое отсутствие необходимости в строгом чередовании культур, а также защите растений от сорняков. При соблюдении мер санитарии беспочвенная культура позволяет отказаться от применения химических средств защиты от болезней и вредителей, то есть повысить качество и биологическую безопасность овощной продукции. Большая часть операций, связанных с уходом за растениями, включая внесение удобрений и орошение, при этой технологии автоматизирована. Гидропоника позволяет заниматься выращиванием круглогодично. Урожайность в десятки раз выше, чем при выращивании культур обычным грунтовым способом.

В зависимости от характера корнеобитаемой среды различают следующие виды гидропонных систем:

– *агрегатопоника* – выращивание овощей на твердых сыпучих субстратах с небольшой влажностью;

– *хемотропоника* – выращивание овощных растений на субстратах растительного происхождения (например, на опилках);

– *ионопоника* – выращивание растений на синтетических онообменных смолах, насыщенных питательными элементами, которые находятся в поглощенном, но доступном для растений обменном состоянии;

– *водная культура* – выращивание растений на водных питательных растворах, в которые погружены корни овощных растений;

– *аэропоника* (или воздушная культура) характеризуется тем, что корни растений постоянно находятся во влажном воздухе и их часто опрыскивают питательным раствором.

Наиболее важным оборудованием гидропонной теплицы является растворный узел. Для приготовления растворов используют простые и хорошо растворимые удобрения. Состав питательных растворов зависит от культуры, фазы роста, погодных условий. Подается раствор к растениям с помощью насоса по системе трубопроводов снизу к корням растений. Избыток раствора стекает самотеком снова в резервуар. В зависимости от времени года, возраста растений и свойств субстрата раствор подают до пяти раз в день. Верхний слой субстрата (2–4 см) не смачивают раствором во избежание появления на нем водорослей. В период между подачами раствора корни поглощают воду и растворенные в ней вещества с поверхности частиц субстрата.

Поскольку эффективность усвоения питательных веществ корнями растений зависит от интенсивности дыхания и фотосинтеза, то в гидропонных теплицах необходимо создавать благоприятные условия для протекания этих процессов. Содержание CO_2 в воздухе теплиц днем может снижаться до 0.01%. В этом случае его добавляют из специальных баллонов. Для получения высоких урожаев концентрацию CO_2 в воздухе повышают до 0,3–0,5%.

Регулируют также температуру, освещение и относительную влажность воздуха, поддерживая их на уровне оптимальных значений.

Свойства субстрата и состав питательного раствора для выращивания растений в условиях гидропоники должны соответствовать ряду требований: субстрат должен обеспечивать устойчивое вертикальное положение растений, иметь малую емкость поглощения, не вступать в реакцию с питательным раствором, обеспечивать достаточную аэрацию корневой системы, не содержать вредные для растений химические компоненты.

Питательные растворы готовят путем растворения в воде определенных количеств соответствующих солей. Большое значение имеет качество самой воды.

Питательные растворы должны содержать все необходимые растениям элементы в усвояемой форме и удовлетворять потребности растений в них на разных этапах развития. В настоящее время существует много рецептов питательных смесей для выращивания различных видов растений. По своим характеристикам они близки, так как составлены на основе общих принципов приготовления. К наиболее важным показателям относятся: общая концентрация солей (не более 2–4 г/л), содержание натрия (не более 30 мг/л), хлора (не более 50 мг/л), бора (не более 0,3 мг/л). Содержание ионов HCO_3^- не должно превышать содержание суммы ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} . Концентрация аммонийного азота должна быть не более 40 мг/л.

Хорошо подобранной для многих культур является питательная смесь, предложенная В.А. Чесноковым и Е.Н. Базириной. В 1 л воды она содержит: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ – 0,5 г/л, KNO_3 – 0,4 г/л, KH_2PO_4 – 0,14 г/л, NH_4NO_3 – 0,16 г/л, MgSO_4 – 0,28 г/л, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 0,13 г/л, FeCl_3 – 0,16 г/л, H_3BO_3 – 0,72 мг/л, MnSO_4 – 0,45 мг/л, ZnSO_4 – 0,06 мг/л, CuSO_4 – 0,02 мг/л. Наиболее благоприятная реакция питательного раствора для многих растений соответствует pH 5,5–6,5. Для поддержания ее в этих пределах питательный раствор должен обладать достаточной буферностью, то есть иметь способность противостоять изменению pH.

Раствор используют многократно, но следят, чтобы концентрация питательных веществ соответствовала его рецептуре. Содержание основных элементов питания и рН раствора контролируют еженедельно. Один раз в месяц осуществляют его полную замену.

Изменение характеристик питательного раствора по мере роста растений происходит по следующим причинам:

1. Анионы и катионы солей поглощаются с неодинаковой скоростью, в результате чего раствор подкисляется или подщелачивается (проявляется физиологическая кислотность или щелочность солей). При подщелачивании раствора некоторые питательные элементы (железо, фосфор и частично кальций и магний) выпадают в осадок и становятся труднодоступными растениям. За изменением кислотности раствора необходимо следить и при необходимости вносить поправки.

2. Поглощение корнями из питательного раствора минеральных солей и воды, происходит неравномерно. В жаркую солнечную погоду расходуется больше воды, и раствор становится более концентрированным; в пасмурную погоду, наоборот, соли из раствора поглощаются быстрее, чем вода, и питательный раствор разбавляется. Относительная скорость поглощения воды и солей зависит также от возраста растений: молодые, быстро растущие растения поглощают относительно много солей, старые растения – воды. Возрастает поглощение солей и при образовании плодов. Поэтому за концентрацией раствора надо систематически следить и при необходимости корректировать ее. При недостатке солей может ослабиться рост растений, а при сильном засолении растения начнут страдать и могут погибнуть.

3. Неравномерно из раствора происходит поглощение и отдельных питательных элементов. Это связано с особенностями роста растений: молодые больше поглощают азота, магния, фосфора; старые – кальция; при образовании плодов растения требуют много калия и т. д.

Состав питательного раствора корректируют в соответствии с потребностями растений в элементах питания в отдельные периоды роста и

развития. После прорастания и в начале роста растения используют запасные вещества семян, поэтому не нуждаются в высоких концентрациях питательных веществ в питательном растворе. Во время интенсивного роста и формирования вегетативных органов значительно увеличивается потребность в элементах питания, особенно в азоте. Перед цветением повышается потребность в фосфорно-калийном питании.

Установлено, что при обильном плодоношении азот из нижних листьев интенсивно мигрирует в плоды и при этом листья быстро стареют, особенно если в растворе преобладает аммонийная форма азота. Для обеспечения более длительного плодоношения целесообразно в питательную среду включать на одну часть аммонийного азота две или больше частей нитратного азота.

Состав питательного раствора подбирается также в зависимости от времени выращивания растений (зимне-весенняя культура или осенне-зимняя). Например, при осенне-зимнем выращивании томатов в растворах рекомендуется уменьшать концентрацию аммонийного азота, так как при недостатке света растение образует меньше сахаров, необходимых для связывания аммиака. Одновременно увеличивают содержание сульфатов магния и калия. Опыты с использованием растворов с разными концентрациями и соотношением аммонийного и нитратного азота, показали, что при выращивании томатов в осенне-зимний период наибольший урожай получается на фоне раствора с большей концентрацией нитратного азота. В осенне-зимний период рекомендуется давать больше калия, чем азота. Летом, наоборот, подачу калия надо снижать и усиливать питание азотом.

Характер роста, развития и даже внешний вид растений в условиях гидропоники значительно изменяется. Так уже через 75 дней после посева растения томата достигают 3-х метровой высоты, что в 4,5 раза превышает высоту растений при традиционном способе культивирования.

Технология агрегатопоники. В большинстве тепличных комбинатов используется агрегатопоника на минеральной вате (гродане – назван по имени производителя – датской компании Grodan). Минеральная вата (каменная вата),

производится из базальтовых горных пород или диабазов. Измельченную породу смешивают с коксом и доводят до температуры плавления (1600°С), из расплавленной массы делают волокна (процесс похож на производство сахарной ваты).

Это малообъемная культура. Она имеет ряд особенностей.

Перед началом оборота (ноябрь–декабрь) теплицы моют, оборудование дезинфицируют, очищают оросительную систему, поверхность земли накрывают белой пленкой, поверх которой укладывают маты с минеральной ватой. В матах делают насечки (отверстия) для растений и устанавливают капельницы, по которым будет подаваться питательный раствор к каждому растению. За два дня до посадки растений маты заполняют питательным раствором и прогревают теплицу. При достижении необходимой температуры (17–18 °С для огурца и 20–22 °С для томата) высаживают рассаду. Обычно это первая–вторая декада января.

Выращивание рассады осуществляют в рассадном отделении. Для этого в ячейки кассеты для рассады устанавливают небольшие «пробки» из минеральной ваты и насыщают их водой. В каждую ячейку на «пробку» выкладывают подготовленное семя томата/огурца и присыпают сверху небольшим количеством вермикулита или перлита. Кассеты с семенами устанавливают на тележки и закатывают в камеры для проращивания, где устанавливаются условия (повышенной температуры и влажности), которые позволяют ускорить процесс прорастания семян. Подросшие и окрепшие растения из камеры проращивания вместе с пробкой переставляют в кубики из минеральной ваты (пикировка) (рис. 64), которые в свою очередь расставляются по столам в рассадном отделении (рис. 65). Для поддержания влажности и поступления питания к молодым растениям специальные столы затапливают питательным раствором, тем самым насыщая им кубики с растениями.



Рисунок 64 – «Пробка», кассета с «пробками» и кубик из минеральной ваты.



Рисунок 65 – Рассадное отделение

Рассаду томатов выращивают 38–45 дней, огурцов – 28–30 дней. Готовая рассада должна иметь хорошо сформированные листья (у томата 5–6 листьев и видимые зачатки цветочной кисти, у огурца – 5 настоящих листьев).

Далее рассаду перемещают в основной блок теплицы, расставляя на маты, к каждому растению подводят капельный полив с питательным раствором. От каждого растения к верху теплицы натягивается поддерживающий шпагат. Плотность посадки томатов 2,5 шт./м², огурцов – 3–1,5 шт./м². При нормальном физиологическом росте и развитии в течение месяца растения огурца должны достичь шпалеры. При появлении цветков устанавливают домики со шмелями или ульи с пчелами.

Урожай томатов, выращиваемых гидропонным способом, при продленной культуре составляет 35–37 кг/м², огурцов – до 40 кг/м².

Для защиты растений применяют преимущественно биологические средства защиты, к которым относятся биопестициды и энтомофаги. (насекомые хищники, которые не вредят растениям, но поедают вредных насекомых).

Культивирование овощей по данной технологии обеспечивает высокий уровень получения стандартной продукции. Здесь не возникает обычных при традиционном выращивании овощных культур проблем, связанных с кислотностью и другими агрохимическими свойствами почвы. Эта технология позволяет интенсифицировать ростовые процессы и повысить урожайность культур. В этих условиях физиологические процессы протекают намного быстрее, чем при традиционных способах выращивания.

В настоящее время широкое распространение получает голландская гидропонная технология. В соответствии с ней создаются два слоя питательного раствора: у основания искусственного субстрата циркулирует питательный раствор, а у поверхности питательный слой создается подачей раствора в виде тумана (аэрозоля). Аэрозоль обеспечивает хорошую аэрацию и способствует быстрому образованию корней.

"Беспочвенная" технология культивирования из-за высокой стоимости оборудования экономически эффективна лишь при выращивании овощей, продукция которых реализуется по высокой цене (томаты, огурцы), и быстрорастущих листовых, зеленных и корнеплодных культур, формирующих урожай в течение месяца.

Для реализации малообъемной гидропоники используют специальные тепличные комплексы или фитотронно-тепличные комплексы. Площади тепличных комбинатов могут достигать сотен гектар. В России самым большим тепличным комплексом является агрокомбинат «Южный», который занимает площадь в 144 га.

Технология аэропоники. Аэропóника – процесс выращивания растений в воздушной среде без использования почвы или другого субстрата, при котором питательные вещества доставляются к корням растений в виде аэрозоля.

Растение закрепляется опорной системой, а корни висят в воздухе, орошаемые питательным раствором (рис. 66, 67). Смесь подается к корням непрерывно или через короткие промежутки времени так, чтобы корни не успевали высохнуть. Листья и ствол растения изолированы от зоны распыления. При таком подходе среда остаётся свободной от вредителей и болезней, связанных с почвой. Использование аэропоники позволяет создавать полностью автоматические системы выращивания растений, которые значительно проще систем с использованием субстрата.



Рисунок 66 – Башенные установки для аэропоники

Аэропоника впервые была предложена в 1911 г. В.М. Арциховским. С 2006 г. она используется в сельском хозяйстве во всем мире. Этот способ выращивания растений имеет следующие преимущества:

- быстрый рост и развитие растений, благодаря активному насыщению корней кислородом;
- увеличение урожайности (до нескольких раз для некоторых культур) в сравнении с обычными методами выращивания растений;



Рисунок 67 –Корневая система растений при aeropонике

- возможность получения урожая круглый год при создании необходимых условий;
- является безопасным и экологически чистым способом получения здоровых растений;
- позволяет экономить воду и энергию на производство единицы продукции;
- растения защищены от болезней и вредителей, обитающих в почве;
- есть возможность создания многоярусных теплиц, автоматизировать производство, выращивать растения в пустынях, тундре и других малопригодных для сельского хозяйства районах

Основным недостатком aeropоники является высокая зависимость от бесперебойного энергоснабжения.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие материалы используются в качестве твердых субстратов при выращивании растений в условиях гидропоники?
2. Каким требованиям должны соответствовать твердые субстраты?
3. Каким требованиям должны соответствовать питательные растворы?

4. С чем связана необходимость регулярного контроля состава питательного раствора и его корректировки?
5. Почему появляется необходимость изменения состава питательного раствора в зависимости от сезона выращивания растений в условиях гидропоники? Приведите примеры.
6. Охарактеризуйте суть гидропонной технологии выращивания овощей.
7. Чем отличается аэропоника от гидропоники?
8. Назовите недостатки аэропоники.

2.6 ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ И ПОЛУЧЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Совершенствование технологий использования удобрений должно обеспечивать получение высоких урожаев качественной продукции, экономическую эффективность удобрений и охрану окружающей среды. Этому отвечает организация сбалансированного питания растений на каждом этапе онтогенеза. На фоне ежегодного роста цен на минеральные удобрения такой подход приобретает особое значение.

Анализ развития агротехнологий (переход от экстенсивных к нормальным, интенсивным, высокоинтенсивным, высокоточным (прецизионным), экологически безопасным, альтернативным) показывает, как менялось отношение к минеральным удобрениям.

При экстенсивных агротехнологиях используется естественное плодородие почв без применения удобрений.

В нормальных технологиях используются минеральные и органические удобрения, химические мелиоранты и пестициды в том минимуме, при котором можно осваивать почвозащитные системы земледелия, поддерживать средний уровень окультуренности почв, устранять дефицит элементов минерального питания, находящихся в критическом минимуме, и давать удовлетворительное качество продукции.

Интенсивные агротехнологии рассчитаны на получение планируемого урожая высокого качества интенсивных сортов сельскохозяйственных культур

при непрерывном управлении производственным процессом на всех этапах органогенеза растений. В них обеспечивается оптимальное минеральное питание растений и защита от вредных организмов и полегания при минимальных рисках загрязнения продукции и окружающей среды. Эти технологии, называемые также высокими или точными, отличаются от интенсивных использованием электронных средств автоматизации, геоинформационных систем, космических методов диагностики посевов и дистанционных средств управления ими.

Прецизионные (высокоточные) технологии обеспечивают конкурентоспособность продукции растениеводства за счет снижения затрат, возделывания экономически выгодных культур, внедрения ресурсосберегающих технологий. Наиболее перспективны ГИС-технологии и высокотехнологичное земледелие. Точное (прецизионное) земледелие учитывает неоднородность участков каждого поля по рельефу, почвенному покрову, содержанию в почве питательных элементов (агрохимическое обследование почв) и подразумевает применение на каждом участке поля разных технологий. Изменение регулировок машин при обработке почвы, посевах, внесении удобрений и средств защиты растений на каждом участке поля позволяет оптимизировать производственные издержки и снизить негативное воздействие на окружающую среду. В точном земледелии используют GPS-навигацию для параллельного вождения техники при уходе за растениями. Это значительно экономит минеральные удобрения и средства защиты растений, снижает потери урожая за счет пропусков и перекрытий, возникающий при традиционной обработке. Использование ГИС требует больших вложений на приобретение программного обеспечения, оборудования, цифровых карт, обучение кадров.

Экологически безопасные технологии. Использование пестицидов и высоких доз минеральных удобрений в интенсивных технологиях может привести к загрязнению окружающей среды и производимой продукции тяжелыми металлами, остатками пестицидов, нитратами. Экологически

безопасные агротехнологии предусматривают использование главным образом биологического азота, и не исключают применение небольших доз азотных подкормок, базируются на широком использовании биологических и механических средств защиты посевов, а также допускают использование быстро разрушающихся пестицидов, не накапливающихся в почве и растениях.

Особое положение занимают **альтернативные технологии** выращивания сельскохозяйственных культур. Это агротехнологии, в которых запрещается использование минеральных удобрений, пестицидов, регуляторов роста и других химических веществ. Альтернативное земледелие – это своеобразная форма протеста против экологических рисков химизации земледелия («органическое», «биологическое», «экологическое» земледелие). Однако позиции приверженцев альтернативного земледелия не имеют научного фундамента, продукция органического земледелия не застрахована от природных микотоксинов, перспективы этих технологий очень ограничены.

Ресурсосберегающие технологии позволяют экономно использовать материально-технические, трудовые, финансовые и другие ресурсы на базе интенсификации производства. Целью таких технологий является снижение себестоимости и получение продукции высокого качества. Перспективными являются ресурсосберегающие технологии с использованием ГИС, mini-till, no-till и strip-till, основными принципами которых является минимизация (mini-till) или отказ (no-till) от механической обработки почвы, сохранение растительных остатков (мульчи) на поверхности почвы (обеспечивают сбережение влаги), использование севооборотов, интегрированный подход в борьбе с вредителями и болезнями, использование широкозахватных многофункциональных комбинированных агрегатов, внедрение ГИС-технологий.

Strip-till – система полосной обработки почвы, позволяющая улучшить ее состояние, увеличить популяцию полезных микроорганизмов. Она сочетает в себе преимущества нулевой (no-till) и традиционной обработки почвы. При использовании нулевой обработки почвы возникают проблемы с внесением удобрений, которые нужно заделывать на определенную глубину. При

полосной обработке почвы (strip-till) сухие и жидкие удобрения вносят на глубину 15–20 см в эти полосы, непосредственно в зону развития корневой системы. Междурядье не обрабатывается, оно покрыто мульчей из растительных остатков. Это позволяет экономить 20-40% минеральных удобрений.

Таким образом, подходы к использованию удобрений менялись с развитием агротехнологий. Современные технические и информационные средства позволяют осуществить дифференциацию внесения минеральных удобрений и средств защиты растений на каждом участке поля в соответствии с потребностями растений в каждую фазу развития (система точного (прецизионного) земледелия).

Внесение удобрений в системе точного (прецизионного) земледелия

Обычно расчет доз удобрений проводится исходя из среднего плодородия поля. При таком подходе на одних участках поля создается избыток удобрений, на других – их недостаток. Это влияет на урожайность и качество продукции, на плодородие почвы и экологическую обстановку на поле. Точное (прецизионное) земледелие учитывает неоднородность участков каждого поля по содержанию питательных элементов..

В этой технологии предусматривается два режима внесения удобрений и других химикатов - off-line и on-line.

Режим off-line предусматривает предварительную подготовку на стационарном компьютере карты-задания, в которой содержатся дозы удобрений для каждого элементарного участка поля. Для этого осуществляется агрохимическое обследование полей с привязкой координат элементарных участков с помощью GPS-навигации и расчёт доз удобрений для каждого из этих участков. Затем информация переносится с помощью чип-карты на бортовой компьютер сельскохозяйственной техники, оснащённой GPS-приёмником, и выполняется заданная операция (рис. 60).

Трактор, оснащенный бортовым компьютером, двигаясь по полю, определяет свое местонахождение. Компьютер считывает с чип-карты дозу агрохимикатов, соответствующую месту нахождения, и посылает сигнал на контроллер распределителя твердых удобрений или опрыскивателя, который выставляет нужную дозу.

Режим on-line предполагает предварительное определение агротехнических требований на выполнение операции – количественной зависимости дозы удобрений от показаний датчика, установленного на сельскохозяйственной технике сканирующего посева и выполняющего операцию по их внесению. Следовательно, соответствующая доза определяется непосредственно во время выполнения операции. Результаты (дозы и координаты, обработанная площадь, время выполнения и фамилия исполнителя) записываются на чип-карту.

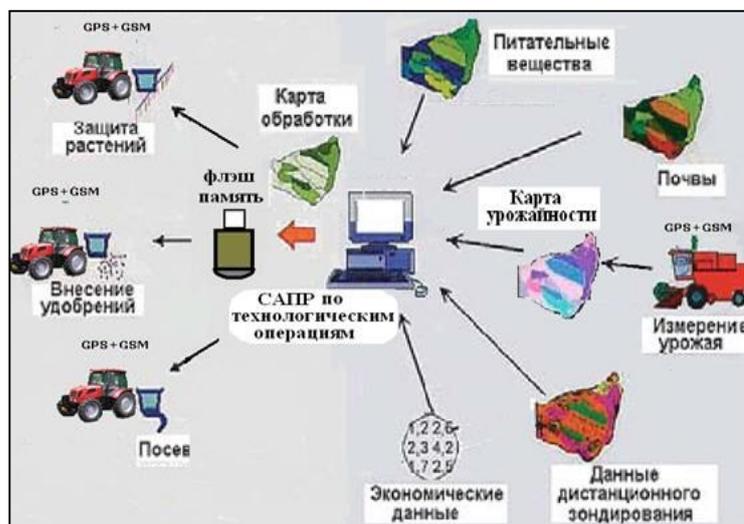


Рисунок 60 – Информационная база точного земледелия

Комплектация информационной и технической базы существенно зависит от режима выполнения операции.

Режим off-line предполагает наличие в качестве информационно-технической базы мобильного автоматизированного комплекса для создания электронных карт полей и агрохимического обследования почвы (рис. 61). Он снабжен автоматическим почвенным пробоотборником, спутниковой системой

позиционирования (GPS), бортовым компьютером, и программным обеспечением.

Почвенные пробы берутся на глубину 25 см. Каждая проба автоматически собирается в специальный контейнер на пробоотборнике и пересыпается в отдельную маркированную тару. Определение местоположения осуществляется с использованием спутниковой системы позиционирования и записывается на компьютер, оснащенный специальным программным обеспечением, которое позволяет непосредственно в поле создавать электронный контур обследуемого участка, определять точки отбора проб и осуществлять навигацию по этим точкам.



Рисунок 61 – Внешний вид мобильного автоматизированного комплекса

Эта технология обеспечивает автоматическое создание электронной карты-схемы обследования с заданными размерами элементарного участка.

При отборе проб оператор, двигаясь внутри элементарного участка, делает 10–20 уколов автоматическим пробоотборником, останавливаясь при каждом уколе. На панели бортового компьютера записывается пройденный путь и сохраняется в памяти компьютера.

Образцы направляются в агрохимическую лабораторию для анализа.

Результаты лабораторных исследований почвенных проб заносят соответственно точкам их отбора, импортированным из бортового компьютера, и получают карту распределения по полю каждого агрохимического параметра.

Встроенный специальный редактор формул позволяет программировать достаточно сложные методы расчета доз минеральных удобрений, и создается карта-задание на их внесение. В базе удобрений указывается содержание в них действующих веществ, стоимость и название. Это позволяет рассчитать полную стоимость удобрений, внесенных на конкретное поле по созданной карте-заданию.

Для точного вождения машины по полю, исключения огрехов и перекрытий полос внесения минеральных удобрений используется контролер параллельного вождения.

Кабина трактора оснащена бортовыми компьютерами Amatron II А и Hydro и контролером курса (рис. 62). Amatron II А производит регулировку нормы внесения удобрений с учётом фактической скорости и ширины захвата навесного оборудования. На дисплее компьютера отображаются фактическая скорость движения, определяется и сохраняется обработанная площадь и время работы.



Рисунок 62 – Оснащение сельскохозяйственной техники в точном земледелии (бортовые компьютеры Amatron II А и Hydro и контроллер курса в кабине трактора)

Комплектация информационной и технической базы для режима on-line обеспечивает предварительное определение агротехнических требований

выполнения операции по внесению удобрений, а доза удобрений определяется непосредственно во время выполнения.

Агротехнические требования – это количественная зависимость дозы удобрения от показаний оптического датчика, установленного на сельскохозяйственной технике, выполняющей операцию. Результаты выполнения операции (дозы и координаты, обработанная площадь, время выполнения и фамилия исполнителя) записываются на чип-карту.

Оптический азотный сенсор Hydro-N-Sensor.

Гидро-N-сенсор – оптический прибор, позволяющий оптимизировать внесение минеральных удобрений при азотных подкормках растений. N-сенсор устанавливается на крыше трактора и имеет четыре оптических датчика по углам, обеспечивая обзор с четырех сторон. Эти датчики улавливают отраженный свет от листовой поверхности в красном и инфракрасном диапазоне света. Данные анализируются каждую секунду, и по ним определяется содержание хлорофилла в листьях и биомасса. Пятый датчик направлен вверх, он измеряет интенсивность света, позволяя системе корректировать данные в соответствии с различными условиями освещенности, что дает возможность проводить работу и в пасмурную погоду.

Информация от датчиков передается на бортовой компьютер Hydro, который соединён кабелем с бортовым компьютером Amatron II A, управляющим дозирующей системой распределителя минеральных удобрений или опрыскивателя. В зависимости от интенсивности окраски листьев, сенсор повышает или снижает норму внесения азотных удобрений. Таким образом, это уникальный прибор позволяющий решить проблему естественной пестроты полей по этому элементу.

Определяющим элементом в работе N-сенсора являются так называемые калибровочные таблицы. Их разработка требует значительных затрат, но является обязательным условием для работы N-сенсора.

Разработка калибровочных таблиц для каждого сорта и для каждой фенологической фазы развития культуры ведется при помощи портативного

прибора N-тестера (рис. 63). При наступлении фенологической фазы, на которую была запланирована азотная подкормка, проводятся измерения N-тестером на разных по окраске и месторасположению растениях. Показания прибора записываются и растения доставляются в лабораторию. В лаборатории определяется необходимая доза азота для каждого растения. Результаты лабораторного анализа ставятся в соответствие показаниями N-тестера. Так получается калибровочная таблица.



Рисунок 63 – Фотометры: 1 - Оптический датчик GreenSeeker (США); 2 - Американский N-тестер CCM-200; 3 - Портативный N-тестер «ЯРА»; 4 - Портативный N-тестер «Спектролюкс»

Калибровочные таблицы и портативный прибор N-тестер играют основную роль в определении доз азотных удобрений. Таблицы используются для калибровки N-сенсора в поле. N-тестер, также как и N-сенсор, позволяет определять содержание хлорофилла в листьях растений.

Дифференцированное внесение минеральных удобрений на опытных полях Агрофизического НИИ обеспечило 25%-нюю экономию удобрений, повышение урожайности яровых зерновых культур на 15% и повышение класса зерна пшеницы до хлебопекарного.

Инновационные формы минеральных удобрений

Существенным недостатком многих минеральных удобрений, особенно азотных, является их физиологическая кислотность, а также присутствие в них вследствие технологии производства остаточной кислоты. Интенсивное применение таких удобрений в севообороте приводит к заметному подкислению почв и созданию неблагоприятных условий растений, к дополнительным затратам на известкование.

К инновационным направлениям производства удобрений относится создание гранулированных, максимально сбалансированных, комплексных, медленнодействующих с контролируемым выходом питательных веществ, под конкретную культуру и почвенно-климатические особенности регионов применения. Удобрения пролонгированного (контролируемого) действия – это удобрения, которые содержат элементы питания в форме, позволяющей отсрочить их высвобождение и поглощение растениями после внесения, или в форме, которая удлиняет срок их доступности растениям в сравнении водорастворимыми, а значит быстродействующими удобрениями (такими как аммиачная селитра, карбамид и др.).

Существует несколько путей достижения такого эффекта: использование полупроницаемого покрытия (капсулы), использование медленнорастворимых соединений, ингибиторов нитрификации. Капсулирование гранул достигается покрытием их синтетическими органическими соединениями (термопластик, резины) и неорганическими (элементарной серой). Покрытие должно быть полупроницаемым или непроницаемым с порами для высвобождения элементов. Оно контролирует проникновение воды внутрь гранулы, растворение удобрения и дает возможность синхронизировать высвобождение питательных элементов с потребностями растений. Речь идет, прежде всего, об азотных удобрениях.

Наибольшая доля рынка удобрений пролонгированного действия принадлежит США, Японии, Германии, Нидерландам, Италии, наращивают

производство таких удобрений Китай, Индия. Активизируется такая работа и в России. Например, в России «ЕвроХим» выпускает гранулы карбамида УТЕС, покрытые ингибитором уреазы, который продлевает действие азота на срок до 21 дня. Это удобрение можно поверхностно, без заделки в почву, в качестве основного удобрения или в подкормку. Второй пример – комплексные минеральные удобрения пролонгированного действия «Агровитаква-AVA» эффективно действуют 2-3 года, на 97% усваиваются растениями. Эти удобрения применяются в качестве РК-удобрения длительного действия с микроэлементами для основного внесения и подкормок плодово-ягодных, овощных культур, цветочно-декоративных культур на всех типах почв.

К медленнодействующим удобрениям можно отнести продукты конденсации мочевины с альдегидами: уреаформ, изобутилендимочевина (ИБДМ), оксамид, кротонилидендимочевина (КДМ). Они содержат около 40 % азота, который находится в трудно растворимой форме, обладает заметным последствием в отличие от обычных растворимых азотных удобрений.

Для снижения потерь азота из водорастворимых удобрений используются ингибиторы нитрификации, вносимые как отдельно, так и в составе азотных удобрений, как было сказано выше. Эти препараты тормозят нитрификацию в течение 1,5–2 месяцев и сохраняют минеральный азот почвы и удобрений в аммонийной форме.

Вопросы для самоконтроля

1. Приведите различия между интенсивными и прецизионными агротехнологиями.
2. В чем суть экологически безопасных и альтернативных агротехнологий?
3. В чем суть ресурсосберегающих технологий, и какие перспективные формы их вы знаете?
4. Охарактеризуйте агрохимическое обследование почв с помощью автоматизированного мобильного комплекса.
5. В чем состоят различия технологии точного земледелия, осуществляемого в режимах on-line и off-line?
6. Расскажите о приборах N-тестерах и их применении в системе точного (прецизионного) земледелия.
7. Что вы знаете о направлениях совершенствования форм минеральных удобрений?

3 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

3.1 ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ К НЕБЛАГОПРИЯТНЫМ УСЛОВИЯМ СРЕДЫ

Питание сельскохозяйственных культур, сбалансированное по макро- и микроэлементам и отвечающее требованиям растений при прохождении отдельных этапов онтогенеза, не только способствует повышению урожайности и улучшению качества продукции, но и повышает экологическую устойчивость растений. В условиях грамотного, научно обоснованного применения удобрений сельскохозяйственные культуры лучше и с меньшими потерями урожайности переносят засуху, высокие и низкие температуры, переувлажнение, вредные газы и тяжелые металлы, действие патогенных микроорганизмов. Это особенно важно для современных сортов и гибридов, у которых высокий потенциал продуктивности часто сопряжен с понижением устойчивости к неблагоприятным условиям внешней среды.

Для хорошей перезимовки озимых культур большое значение имеет правильное удобрение в осенний период.

Повышенная кислотность почвы отрицательно сказывается на процессе закаливания растений, поэтому известкование является одним из способов повышения их зимостойкости. Полезным бывает использование навоза, минеральных макро- и микроудобрений. Так, зимостойкость озимой пшеницы возрастает при внесении под посев калийно-фосфорных удобрений. Это усиливает накопление растениями сахаров, благодаря которым температура замерзания тканей существенно снижается. Установлено, что закаливание озимых культур связано с повышением содержания в них соединений фосфора. Динамика морозоустойчивости озимой пшеницы коррелирует с содержанием в растениях фосфорилированных соединений.

Избыточные дозы азотных удобрений, усиливая процессы роста, повышают чувствительность озимых к низким температурам. Положительное

влияние на морозоустойчивость и холодостойкость растений оказывают микроэлементы (кобальт, цинк, молибден, медь, ванадий, кремний). Цинк повышает содержание связанной воды, усиливает накопление сахаров; молибден способствует увеличению содержания общего и белкового азота.

Повысить холодостойкость яровых культур в ранневесенний период можно внесением не только фосфорных и калийных, но и азотных удобрений в умеренных дозах, что способствует быстрому росту растений в первой половине вегетации.

Способность микроэлементов влиять на холодо- и морозоустойчивость имеет большое значение при интродукции и акклиматизации растений. Холодостойкость ряда растений повышается при замачивании семян в слабых растворах (0,25%) микроэлементов.

Так, обработка томатов раствором сульфата цинка предохраняет растения от повреждения при температуре около -5°C . Алюминий повышает морозоустойчивость огурцов и гречихи до -4°C . О положительной роли микроэлементов в формировании устойчивости растений к морозам свидетельствуют и то, что при продвижении к северу в растениях повышается содержание меди, марганца и цинка.

Микроэлементы могут улучшать условия для интродукции растений также благодаря ускорению их развития. Например, железо ускоряет наступление цветения; бор, медь, цинк, молибден, а также фосфор ускоряют прохождение яровизации. Бор, марганец, цинк, медь, алюминий и особенно кобальт ускоряют развитие длиннодневных растений при коротком дне (рис. 68).

Удобрения оказывают существенное влияние на засухоустойчивость растений: калийные и фосфорные удобрения повышают устойчивость к засухе, а азотные, особенно в больших дозах – снижают. Роль фосфорных удобрений в уменьшении вредного воздействия засухи отмечал еще К.А. Тимирязев. Заметное положительное влияние оказывают удобрения, содержащие микроэлементы: медь, цинк, марганец, кобальт, молибден и алюминий, особенно в тех случаях, когда засуха совпадает с критическим в отношении

водоснабжения периодом развития – периодом образования тетрад пыльцы. На этих особенностях действия микроэлементов основан метод повышения засухоустойчивости пшеницы и ячменя путем опрыскивания семян растворами солей алюминия, кобальта и меди (Школьник М.Я. и др., 1968).

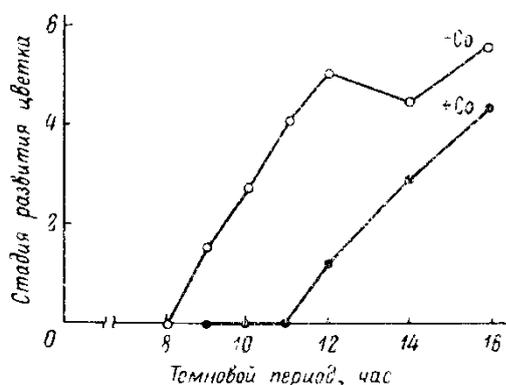


Рисунок 68 – Влияние кобальта на длительность темного периода, необходимого для перехода растений к цветению (Salisbury, 1959 – цит. по М.Я. Школьник, 1974)

Элементы минерального питания оказывают влияние на устойчивость растений не только к абиотическим факторам, но и к возбудителям заболеваний. Так, калийные удобрения повышают устойчивость растений к мучнистой росе и ржавчине, корнеплодов – к гнилям во время хранения. В исследованиях Ф.Е. Маленева микроэлементы повышали устойчивость растений картофеля к фитофторозу, при этом наиболее сильное действие оказывала медь (табл. 31).

Таблица 31 – Действие микроэлементов на устойчивость клубней картофеля к фитофторе при их искусственном заражении (% больных клубней)

Сорт	Предпосадочная обработка клубней			
	контроль	Cu	B	Zn
Сильно поражаемый фитофторой	65,0	37,5	37,0	55,4
Относительно устойчивый к фитофторе	22,9	7,1	9,0	13,1

Медь и марганец повышают устойчивость растений и к другим грибковым заболеваниям: к бурой пятнистости томатов, обыкновенной парше картофеля, мучнистой росе и др. На способности микроэлементов повышать

устойчивость растений к грибковым заболеваниям основано их использование в составе фунгицидных препаратов.

У растений существует также группа болезней, причинами которых являются не возбудители любого происхождения, а отсутствие или недостаток в почве элементов питания (функциональные заболевания). Например, гниль сердечка сахарной свеклы возникает при недостатке бора, мелколистно-розеточная болезнь плодовых культур – цинка, серая пятнистость овса – марганца. К числу функциональных заболеваний относятся также хлорозы и некрозы тканей. Применение соответствующих удобрений полностью устраняет эти заболевания.

Влияние микроэлементов на физиологические процессы, определяющие устойчивость растений к неблагоприятным условиям среды, многосторонне. Установлено, что они снижают транспирацию у растений в дневные часы и повышают ее в утренние часы, повышают содержание связанной воды и водоудерживающую способность тканей.

Некоторые микроэлементы снижают дневную депрессию фотосинтеза, усиливают передвижение углеводов к репродуктивным органам, смягчая вредное влияние засухи и высоких температур на формирование урожая.

Микроэлементы стабилизируют содержание РНК в условиях засухи путем снижения активности фермента рибонуклеазы, разрушающей ее молекулы (рис. 69). При этом поддерживается более высокий уровень синтеза белков, и растения быстрее восстанавливаются после перегрева.

Микроэлементы повышают содержание аскорбиновой кислоты, пролина, амидов, которые играют защитную роль во время засухи и действия высоких температур, сохраняют на достаточно высоком уровне содержание АТФ, снижающееся под влиянием высоких температур (рис. 70).

Для повышения жаростойкости растений рекомендуют некорневую подкормку посевов 0,05%-ным раствором солей цинка.

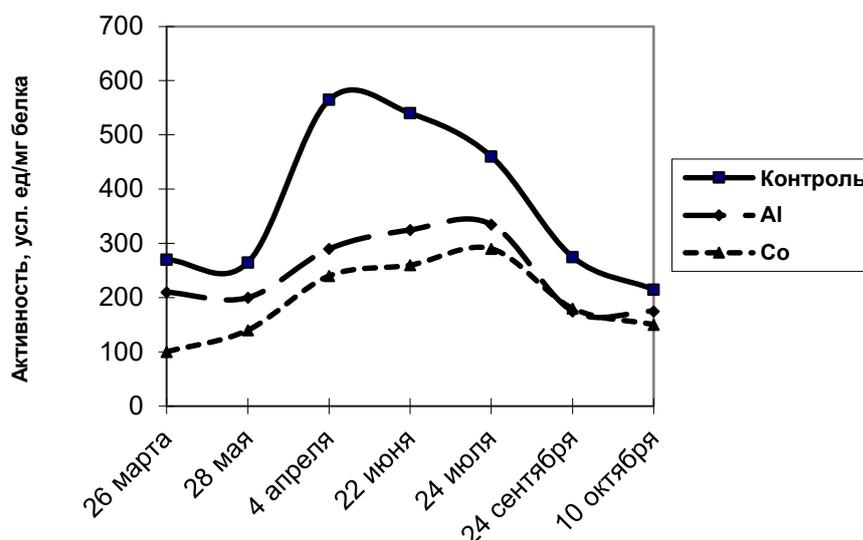


Рисунок 69 – Влияние обработки семян алюминием и кобальтом на активность рибонуклеазы в листьях подсолнечника в период засухи (И.П. Боженко, 1968)

П.А. Генкелем предложен метод повышения жароустойчивости растений путем замачивания семян перед посевом в течение суток в 0,2%-ном растворе хлористого кальция. Воздействие кальция основано на способности повышать вязкость цитоплазмы, что приводит к росту устойчивости растений к перегреву.

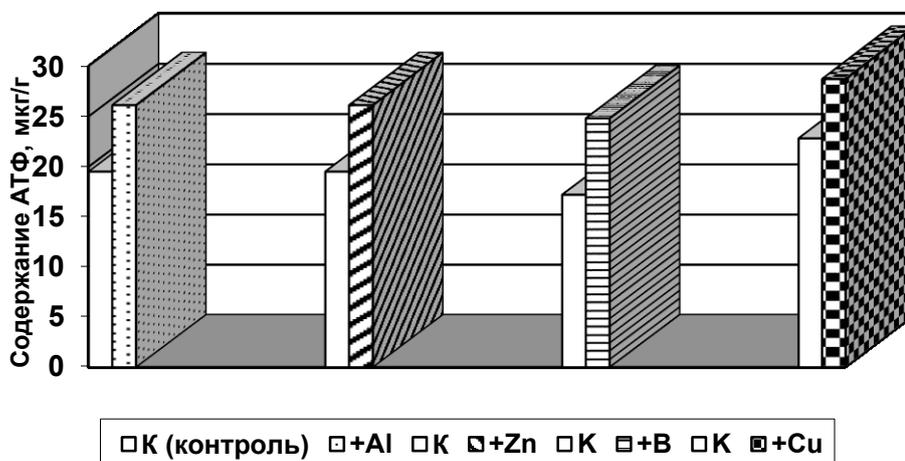


Рисунок 70 – Влияние микроэлементов на содержание АТФ в листьях подсолнечника при температуре 50° С (М.Я. Школьник и др., 1963)

В условиях затопления при отсутствии в почве кислорода некоторые способны переносить электроны на другие акцепторы (нитраты, а также соединения, имеющие двойные связи – жирные кислоты, каротиноиды). Благодаря этому при гипоксии (недостаток кислорода) и аноксии (отсутствие кислорода) поддерживается жизнедеятельность растений. Подкормки таких

культур нитратными удобрениями продлевают их жизнедеятельность в условиях переувлажнения и затопления. Устойчивость хлебных злаков к избытку воды в почве повышает также замачивание семян в 0,1%-ном растворе сульфата марганца, что способствует развитию генеративных органов, формированию зерновок в колосьях.

В условиях засоления внесение в почву микроэлементов улучшает ионный обмен растений. Для повышения солеустойчивости пшеницы и сахарной свеклы семена на один час помещают в 3%-ный раствор NaCl с последующим промыванием водой в течение 1,5 часов. Этот прием повышает устойчивость растений при хлоридном засолении. Для повышения устойчивости к сульфатному засолению семена на сутки помещают в 0,2%-ный раствор MgSO₄. Благоприятное влияние оказывает также замачивание семян в растворе борной кислоты. Такие обработки ведут к повышению урожайности растений при их возделывании на засоленных почвах.

Влияние многих элементов-металлов на устойчивость растений к различным стрессовым условиям внешней среды связано с их участием в работе систем антиоксидантной защиты. При воздействии на растения засухи, затопления, низких и повышенных температур, тяжелых металлов и других факторов в клетках в избыточных количествах накапливаются активные формы кислорода – продукты его неполного окисления: пероксид водорода (H₂O₂), супероксидный анион кислорода (O₂⁻) и другие. Они вызывают переокисное окисление липидов мембран, нарушая их структуру и повышая проницаемость; повреждают хлоропласты; влияют на работу электронтранспортной цепи митохондрий и хлоропластов.

Нейтрализация активных форм кислорода в клетках осуществляется антиоксидантной системой защиты, важной частью которой являются специальные ферменты: супероксиддисмутаза, пероксидаза, каталаза, трансформирующие активные формы кислорода в H₂O и O₂. В активный центр супероксиддисмутаза входят медь, железо, марганец, цинк; в активный центр

пероксидазы и каталазы – железо. Поэтому достаточное обеспечение растений этими элементами способствует повышению их экологической устойчивости.

Недостаток и избыток удобрений одинаково вреден. Недостаток приводит к истощению почвы, снижению урожайности, ухудшению его качества; избыток может привести к загрязнению почв, воды, продукции, атмосферы. Высокие дозы минеральных удобрений нарушают физиологические функции растений и снижают их устойчивость к болезням и неблагоприятным условиям среды. Избыток азота, вызывая усиленный вегетативный рост, снижает устойчивость растений к полеганию, особенно в условиях хорошей обеспеченности влагой. У картофеля и табака в этих условиях снижается устойчивость к фитофторозу, у льна – к ржавчине. В условиях избытка марганца снижается содержание хлорофилла в листьях, избыток никеля вызывает разрушение хлоропластов.

Применение высоких доз удобрений может приводить к засолению почвы. Повышение содержания солей в почве до 0,5% отрицательно сказывается на большинстве сельскохозяйственных культур, особенно на льне, гречихе, овсе. Ухудшается водный обмен растений, подавляется клеточное деление и рост корней. Более устойчивыми к засолению являются люцерна, свекла, томат, хлопчатник.

В последние годы появилось много информации о защитном действии кремния в стрессовых условиях. Его защитное действие обусловлено с одной стороны полимеризацией кремниевой кислоты, приводящей к образованию аморфного гидратированного кремнезема, а с другой – образованием органических защитных соединений. Поэтому для повышения стрессоустойчивости растений имеет значение обеспеченность растений кремнием, независимо от того, являются ли они однодольными или двудольными. Однодольные растения, являясь кремнефилами, имеют более сильную антистрессовую защиту, которая проявляется на молекулярном, клеточном и организменном уровнях.

3.2 ПОСЛЕДСТВИЯ НЕГРАМОТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Средства химизации, используемые в земледелии (удобрения, пестициды, химические мелиоранты, регуляторы роста и др.), оказывают активное воздействие на окружающую среду. При загрязнении ими почв, воздуха, водоемов токсические соединения включаются в трофические цепи и накапливаются в растениях, организме животных и человека (рис. 71).

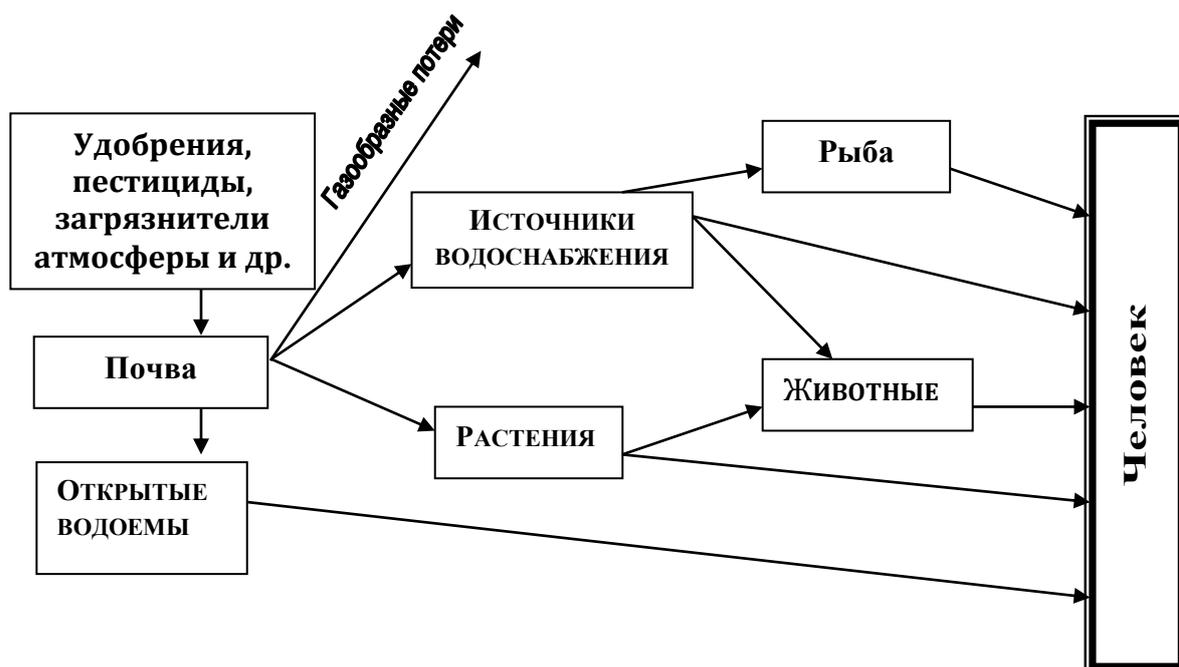


Рисунок 71 – Распространение загрязнителей в окружающей среде

Растения поглощают загрязнители из почвы селективно в соответствии с закономерностями минерального питания.

При крайне ограниченном применении удобрений усиливаются процессы минерализации органического вещества почвы и в почвенный раствор попадают ранее удерживаемых гумусом ксенобиотики.

В природе трудно найти ландшафты, где почва, вода и выращиваемая продукция имели бы оптимальное соотношение всех химических элементов в соответствии с требованиями живого организма. Не случайно существуют биогеохимические провинции с частыми проявлениями тех или иных заболеваний. Особенности почвенного покрова сказываются на развитии растений, их природном видовом составе, что используется в методе

флористической диагностики, например, при разведке месторождений полезных ископаемых.

Таким образом, применение удобрений, являясь объективной необходимостью, требует постоянного контроля их качества, технологий внесения и знаний о возможном загрязнении почвы, воды, продукции, атмосферы.

Азотные удобрения оказывают наибольшее влияние на природную среду. В зависимости от культуры, почвы, погодных и других условий из внесенных удобрений 30–60% потребляется растениями, 15–30% – аккумулируется в почве, 10–30% – теряется при денитрификации в виде газообразных продуктов, 1–5% вымывается из почвы. В качестве минимальных потерь азота в результате инфильтрации (вымывания) можно принять следующие величины (% от внесенного): на тяжелосуглинистых почвах – 0–0,5; среднесуглинистых – 0,5–1; супесчаных – 2–5, песчаных – 5–8 (в среднем 1–5%). Доля азотных удобрений в общих потерях его от вымывания составляет 10–15%, остальные 90–95% потерь представлены азотом почвы.

Потери азота могут происходить также в следующих случаях:

- при поверхностном внесении мочевины (после ее биологического гидролиза азот теряется в виде аммиака);
- при неглубокой заделке аммиачных форм азотных удобрений (аммиак диффундирует в надпочвенный слой воздуха);
- при совместном внесении щелочных удобрений с аммонийными формами азотных удобрений (происходит выделение аммиака);
- при эрозии вместе с потоком смываемой почвы.

При неграмотном использовании минеральных азотных удобрений высока вероятность загрязнения продукции нитратами. Правда, часто в составе нитратов, накапливаемых овощами, преобладает азот почвы (до 60–90%).

Сами нитраты не представляют опасности для организма человека и животных. Гораздо более опасны (в 10–20 раз) образующиеся в организме из нитратов нитриты и нитрозоамины. Организм способен нейтрализовать не

более 300 мг нитратов в день, не давая им возможности превратиться в нитриты и нитрозоамины.

Избыточное количество нитратов, поступивших в организм, под действием ферментативной деятельности пищеварительной системы превращается в нитриты, которые легко проникают в кровь и инактивируют гемоглобин. Образующийся при этом метгемоглобин не способен доставлять кислород к тканям организма. У человека развивается метгемоглобинемия (синюшность), первые признаки которой появляются при содержании в крови около 7% метгемоглобина, легкая форма болезни наблюдается при 10–20%, тяжелая – при более 40%. В случае 80%-ного замещения гемоглобина на метгемоглобин наступает смерть от удушья.

При отравлении нитритами страдает центральная нервная система, появляется учащенное сердцебиение, дыхание, повышается содержание в крови молочной кислоты, холестерина, лейкоцитов. Особенно остро реагирует на поступление нитритов молодой организм. Например, у молодых животных наблюдается замедление роста и полового созревания. Если содержание нитритов в молоке коров превышает 4 мг/кг, наблюдается падеж телят, питающихся этим молоком. У взрослых животных нитриты могут быть причиной самоабортирования.

Нитриты могут взаимодействовать с аминами и аминокислотами, образуя нитрозоамины – канцерогенные вещества.

Источниками нитратов для человека являются питьевая вода, овощные культуры, молоко, мясо, соки. В среднем на овощи приходится 70–80% нитратов, на питьевую воду – 10–15, остальные 5–20% – на мясопродукты, молоко, фрукты, соки.

При отношении в продуктах питания витамина С к нитратам 2:1 реакция нитрозирования в организме резко замедляется или не протекает. Так же действуют пектиновые вещества. Витамин С и пектиновые вещества отсутствуют в питьевой воде, поэтому присутствие нитратов в воде гораздо более опасно, чем в овощах и фруктах. ПДК $N-NO_3^-$ в воде хозяйственно-

питьевого назначения и культурно-бытового водопользования составляет 10,0 мг/л.

Загрязнение почвенных вод нитратами может происходить при использовании высоких доз минеральных азотных удобрений, особенно нитратных, при проведении ранневесенних подкормок озимых зерновых и многолетних трав «по черепку», при интенсивной минерализации органического вещества почвы и органических удобрений, при орошении.

Разные культуры и сорта накапливают неодинаковое количество нитратов. Больше их аккумулируют культуры с незавершенным циклом развития, когда товарная спелость наступает раньше физиологической (например, у огурца, кабачка). По мере созревания растений содержание нитратов уменьшается, так как уменьшается их поступление в растения, а уже поступившие – вовлекаются в обмен азотистых веществ. В репродуктивных органах нитраты отсутствуют или содержатся в гораздо меньших количествах, чем в вегетативных. В наибольших количествах они содержатся в частях и органах, транспортирующих питательные вещества (корнях, стеблях, черешках, жилках), в меньших – в листовых пластинках. Такая локализация связана с разной скоростью транспортных и синтетических процессов в органах растений.

Зерновые культуры почти не накапливают нитраты. Овощные культуры в порядке уменьшения степени накопления нитратов можно расположить в следующий ряд: шпинат, салат, свекла, капуста, укроп, сельдерей, щавель, петрушка, горчица, редис, морковь, редька, лук, репа, брюква, тыква, картофель, патиссоны, арбузы, дыни, кабачки, огурцы, баклажаны, фасоль, чеснок, перец, томаты, горох.

Сорта, родиной которых являются северные и средние широты, накапливают их больше, чем сорта южного происхождения; более опасны тепличные овощи, чем овощи открытого грунта, из-за меньшей освещенности в теплицах.

Установлено, что при низкой освещенности снижается активность нитратредуктазы. Восстановление нитратов стимулируется синим светом. Это связывают с тем, что флавин, входящий в состав нитратредуктазы, поглощает синий свет и активируется им. Во второй стадии восстановления нитратов до аммония участвует фермент нитритредуктаза, локализованный в хлоропластах и в качестве доноров электронов использующий восстановленный в световой фазе фотосинтеза ферредоксин. Действие света связано также с его влиянием в целом на накопление углеводов, необходимых для восстановления нитратов и дальнейшего вовлечения аммония в процессы обмена веществ. При выдерживании растений в темноте (искусственное снижение содержания углеводов) нитраты не восстанавливаются, а накапливаются во всех органах растений. При усиленном поступлении их в растения содержание углеводов снижается.

Различные части овощей содержат неодинаковое количество нитратов. В кожуре клубней картофеля их больше, чем в середине; в кочерыжке капусты их в несколько раз больше, чем в листьях; в сердцевине моркови, мякоти огурца, кабачка – больше, чем в поверхностных слоях. Это необходимо учитывать при приготовлении овощных блюд.

Содержание нитратов в овощной продукции нормируется. Предельно допустимые концентрации (ПДК) нитратов для овощей и фруктов следующие (мг/кг сырого продукта):

- открытый грунт: картофель – 250, капуста белокочанная – 500, кабачки, лук-перо – 600, лук-репка – 80, томаты, огурцы – 150, морковь поздняя – 250, свекла столовая – 1400, яблоки, груши – 50, арбузы – 60, дыни – 90, перец сладкий – 200, виноград - 60, листовые овощи – 2000;

- овощи защищенного грунта: томаты – 300, огурцы – 400, салат, щавель, укроп, петрушка – 3000, лук-перо – 800.

Установлены также ограничения по содержанию нитратов и нитритов в кормах для животных. Предельно допустимая концентрация нитратов в силосе

и сенаже – 500 мг/кг, сене – 1000, зернофураже – 300, в кормовой свекле – 2000 мг/кг. Предельное содержание нитритов в кормах составляет 5–10 мг/кг корма.

Есть мнение, что такое нормирование нитратов в продукции не в полной мере оправдано, так как для овощей и фруктов, накапливающих их в незначительных количествах (огурцы, томаты, яблоки, груши, дыни, виноград), нет необходимости вводить нормативы ПДК. Чем больше различных овощей подвергается контролю, тем сложнее его осуществить, а без него вводить подобные ограничения бессмысленно.

На Западе существует система регламентирования содержания нитратов в целом по продуктам питания без разделения на отдельные виды продукции.

Основная причина избыточного накопления нитратов в растениях обусловлена хозяйственной деятельностью человека – созданием условий минерального питания растений: дозы азотных удобрений, сроки внесения, несбалансированность питания растений и др. Полная замена минеральных удобрений органическими, особенно бесподстилочным навозом, приводит к большему накоплению нитратов в продукции, чем использование одних минеральных удобрений.

На плодородных почвах растения могут накапливать нитраты и без внесения азотных удобрений.

На содержание нитратов в продукции влияют не только азотные удобрения, но и режим освещенности, температура почвы и воздуха, количество и режим осадков, засуха и застойное переувлажнение, уплотнение почвы, ее слабая биологическая активность и другие факторы, которые, порой, трудно регулировать. Одни и те же дозы азотных удобрений могут быть слишком высокими в условиях холодного и пасмурного лета и не вызывать отрицательных последствий в год с большим числом солнечных дней.

К регулируемым факторам, влияющим на накопление нитратов в растениях, относится обеспеченность растений фосфором, калием и микроэлементами. Внесение фосфорных удобрений при выращивании томата в защищенном грунте снизило содержания нитратов в плодах в 2,3–3,3 раза (при

фоном – 112 мг/кг), а отношение витамина С к нитратам повысилось в 2,5–3,5 раза (при отношении на НКМg-фоне – 1,1: 1).

Установлено участие молибдена, кобальта, бора, марганца, железа и серы в ассимиляции нитратов и снижении их накопления в урожае.

Важнейшие условия повышения коэффициента использования растениями питательных элементов из удобрений, снижения непроизводительных потерь их в окружающую среду и получения качественной продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим требованиям по содержанию нитратов, сводятся к следующему:

- известкование кислых почв;
- применение азотных удобрений в соответствии с содержанием минерального азота в почве, минерализующей способностью почвы и данными растительной диагностики питания;
- преимущественное использование локальных способов внесения удобрений;
- дробное внесение азотных удобрений (последнюю подкормку азотом следует проводить за 4–6 недель до уборки урожая, а на посевах культур, используемых в свежем виде – морковь, петрушка и др. – их не проводить вовсе);
- не допускать внесение разовых завышенных доз азотных удобрений;
- на засоренных участках азотные удобрения следует применять только в сочетании со средствами уничтожения сорняков;
- соблюдение правильного соотношения всех элементов питания для данной культуры;
- использование ингибиторов нитрификации.

В соответствии с регламентами, разработанными ЦИНАО, применение азотных удобрений запрещается на сильнокислых почвах ($pH_{КСI} \leq 4,0$); на территориях первого пояса зоны санитарной охраны источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения; на замерзшей и покрытой снегом почве; на почвах с высоким содержанием минерального азота.

Под все сельскохозяйственные культуры разработаны оптимальные дозы азотных удобрений (регламенты), которые гарантируют получение чистой продукции и исключают загрязнение окружающей среды (табл. 32).

Таблица 32 – Регламенты применения азотных удобрений в Центральном районе Нечерноземной зоны России (ЦИНАО)

Культура	Максимально допустимая годовая доза азота, кг/га	Соответствующая урожайность, т/га
Озимая пшеница	160	5
Озимая рожь	100	3,5
Ячмень	100	5
Овес	100	4,5
Гречиха	55	1,5
Картофель (без орошения)	110*	25
Картофель (при орошении)	120	35
Огурцы (при орошении)	100	30
Морковь	90	50
Капуста (при орошении)	140	65
Лук	80	30
Столовая свекла	100	50
Кормовые корнеплоды	160	90
Кукуруза на силос (без орошения)	155	55
Однолетние травы (сено)	злаковые	5
	бобовые	6
Многолетние травы (сено)	злаковые	60
	бобово-злаковые	65
Культурные неорошаемые пастбища (сухая масса)	210	7

* - Дерново-подзолистые суглинистые – 90–100 кг/га; дерново-подзолистые супесчаные – 120 кг/га

Для предотвращения загрязнения среды продуктами трансформации азотсодержащих удобрений необходима оценка всех статей баланса азота в системе почва–растение–удобрение–вода–атмосфера.

С развитием теоретической и прикладной микробиологии, методов генной инженерии появились новые препараты, основанные на штаммах бактерий *ризобиум*, с высокой способностью повышать симбиотическую азотфиксирующую способность бобовых растений.

Заслуживают внимания исследования по ассоциативной фиксации азота злаковыми и другими небобовыми растениями. По данным БГСХА,

применение азоспириллы при выращивании ячменя дает возможность экономить до 30 кг/га азота минеральных удобрений.

Многочисленные опыты показывают высокую эффективность применения ризосферных бактерий не только для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, но и для защиты их от заболеваний. Повышение урожайности при этом варьирует от 12 до 70% при одновременном повышении качества продукции.

В России разработан и разрешен к применению ряд микробиологических препаратов с важными для культурных растений свойствами: способностью фиксировать молекулярный азот; продуцировать фунгицидные вещества, подавляющие рост и развитие фитопатогенной микрофлоры; продуцировать вещества, стимулирующие рост и развитие культурных растений. К ним относятся ризоплан, планриз, фитоспорин, псевдобактерин, экстрасол, ризоторфин, фитолавин.

В настоящее время создаются теоретические предпосылки для создания консорциумов (лат. consortium – соучастие) полезных для растений микроорганизмов, не вступающих в антагонистические отношения между собой и взаимодополняющие друг друга.

Заслуживают внимания технологические разработки в области получения удобрений с регулируемым высвобождением азота (капсулированные удобрения), которые позволяют сократить его эмиссию в окружающую среду, повысить урожайность сельскохозяйственных культур и улучшить качество продукции. Перспективно также использование ингибиторов нитрификации. Так введение в состав мочевины ингибитора нитрификации КМП, позволяет задержать процесс нитрификации на 1 месяц, сохранить азот в почве в аммонийной форме.

Фосфорные удобрения из-за слабой подвижности в почве гораздо в меньшей степени теряются в окружающую среду, чем азотные. По данным ВИУА потери фосфора из удобрений составляют до 10 кг/га, в основном за счет

поверхностного смыва почвы. Внутрипочвенная миграция фосфора составляет ничтожную величину – до 1 кг/га P_2O_5 в год.

С эмиссией фосфора в окружающую среду связывают эвтрофирование водоемов. В расчете на 1 кг поступившего в водоем P_2O_5 образуется 100 кг фитопланктона (В.Г. Минеев, 2004).

Для человека обогащение природных вод фосфором не опасно, если в пище отношение $Ca:P_2O_5$ составляет 1:1 или 1:1,5 (ФАО).

По данным А.Ю. Кудеяровой (1995) повышение содержания общего фосфора в кислых почвах на 10–15%, относительно природных запасов, соответствует предельному уровню нагрузки водорастворимыми фосфатами, превышение которой может повлечь изменение направленности обмена веществ в растениях и смену почвенного микробоценоза.

Вторым аспектом, связанным с использованием фосфорных удобрений, является вовлечение в круговорот с добываемыми фосфатными рудами фтора, стронция, кадмия и других тяжелых металлов (ТМ). С 1 т добываемого фосфора (P_2O_5) эмиссия в окружающую среду фтора достигает 160 кг, стронция – 30–40, оксидов урана, тория и других элементов – 20–25 кг. Из сырья токсичные элементы попадают в удобрения, а затем в почву.

Так, в удобрения переходит 50–80% фтора, который при попадании в растения оказывает отрицательное влияние на фотосинтез, нарушает деятельность ряда ферментов (енолазы, фосфоглюкомутазы, фосфатазы). Накапливаясь в продуктах питания и кормах, фтор отрицательно влияет на здоровье человека и животных.

По данным М.Г. Зырина и Л.К. Садовниковой (1985) с 1 т вносимого с минеральными удобрениями фосфора (5 т простого суперфосфата) в почву попадает 20 г меди, 100 – свинца, 300 г мышьяка.

ТМ усиливают минерализацию органического вещества почвы, замещают кальций и магний в ППК, вызывая в нем негативные изменения. При этом снижается ферментативная активность почвы, так как подавляется жизнеспособность полезных микроорганизмов, активность многих ферментов,

увеличивается численность грибов. Это снижает способность почвы к самоочищению.

Проникая в растения, ТМ могут активно участвовать в метаболических процессах. В основе токсического действия тяжелых металлов на растения лежит их способность связываться с серосодержащими веществами и образовывать с ними прочные соединения. Взаимодействуя с SH-группами белков тяжелые металлы инактивируют ферменты, нарушая метаболизм растений. Под действием ТМ ухудшается фотосинтез, транспорт ассимилятов, минеральное питание, водный режим, рост и развитие растений. Попадая по пищевым цепям в организм человека и животных, они вызывают сердечно-сосудистые заболевания, тяжелые формы аллергии. ТМ обладают эмбриотропным (повреждение зародыша) и канцерогенным (вызывающим образование злокачественных опухолей) действием.

Тяжелые металлы относят к группе особо опасных загрязнителей объектов окружающей среды, так как являются генетическими ядами, аккумулируются в организме и проявляются в наследственных заболеваниях, умственных расстройствах и др. Среди ТМ наиболее опасными являются кадмий, ртуть, свинец.

Кадмий вызывает разрушение эритроцитов, нарушение работы почек, кишечника, размягчение костной ткани и другую патологию. Он обладает мутагенным и канцерогенным действием и представляет генетическую опасность. К лицам повышенного риска в отношении отравления кадмием относят женщин 40 лет и старше, кормящих матерей, детей грудного и младшего возраста, людей с нарушением фосфорно-кальциевого обмена и заболеванием печени и почек.

У растений кадмий вызывает снижение содержания хлорофилла, особенно хлорофилла *b* за счет, как торможения его синтеза, так и разрушения хлорофилла. В присутствии кадмия и свинца снижается активность ключевых ферментов фотосинтеза РубФ-карбоксилазы и ФЕП-карбоксилазы, нарушается транспорт электронов в световой фазе фотосинтеза. Снижается скорость

деления и растяжения клеток, и в результате ухудшается рост растений. В большинстве случаев ингибируется поглощение клетками корня катионов и анионов. Это связано с конкуренцией ионов за трансмембранные переносчики и с повреждением мембран, в том числе с изменением активности мембранных ферментов.

Основными источниками поступления кадмия в окружающую среду являются промышленные выбросы, сточные воды, фосфорные и известковые удобрения, выбросы автотранспорта. Около 45% общего загрязнения этим элементом приходится на выплавку кадмия из руд, 52% попадает в атмосферу в результате сжигания или переработки изделий, содержащих кадмий (О.А. Соколов, В.А. Черников, 1999). Хотя на долю фосфорных удобрений приходится мизерная часть общей эмиссии кадмия в окружающую среду, при неграмотном их использовании локальный уровень загрязнения может быть ощутимым.

По нормативам ФАО, ежедневное поступление кадмия в организм человека не должно превышать 0,07 мг/кг его массы, ПДК кадмия в бытовой воде составляет 0,01 мг/л, в почве – 1–5 мг/кг в зависимости от гранулометрического состава. Содержание кадмия в почве на уровне 5 мг/кг (при ПДК – 1 мг/кг) в 2 раза снижает продуктивность сельскохозяйственных культур, а период его полувыведения из почвы составляет около 1100 лет (О.А. Соколов, В.А. Черников, 1999). По другим оценкам (И.А. Шильников и др., 1998) очищение почвы от загрязнения кадмием в естественных условиях может продолжаться около 200 лет.

Концентрация кадмия в фосфорных удобрениях в значительной степени зависит от содержания его в исходном сырье и технологии производства удобрений (табл. 33). По разным источникам содержание кадмия в фосфорных удобрениях колеблется от 1 до 200 мг/кг. В австралийских фосфоритах его содержится 4–109 мг/кг, северо-африканских – 3–130, встречаются фосфориты с содержанием Cd до 980 мг/кг (Н.Р. Rothbaum et. al., 1986). Потенциальными загрязнителями являются удобрения, содержащие более 8 мг/кг кадмия.

Таблица 33 – Содержание кадмия в фосфорных удобрениях, мг/кг

Страна-производитель	Кадмий
Россия	0,76 – 0,77
Марокко	42,5 – 49,8
Тунис	176,2 – 218,1

ТМ могут попадать в почву и с органическими удобрениями. По данным В.А. Поповой (1991) в навозе в среднем содержится (мг/кг сухой массы): кадмия – 0,2, свинца – 4, цинка – 112, меди – 22, никеля – 7,2.

Кадмий в фосфорных удобрениях находится в подвижном состоянии, легкодоступном растениям. Ежегодно в почву попадает в 2–3 раза больше кадмия, чем потребляется растениями. При длительном постоянном применении фосфорных удобрений может сложиться ситуация опасного локального накопления кадмия в почве. Правильный выбор форм минеральных удобрений, выращиваемых культур и сортов позволяет избежать этого.

Особую опасность с точки зрения загрязнения почв тяжелыми металлами представляет использование на удобрение *отходов промышленности, осадков сточных вод (ОСВ), фосфогипса, сапропеля*.

Например, пиритные огарки (отход сернокислотной промышленности), рекомендуемые в качестве медьсодержащего удобрения, содержат 40–63% железа, 1–2 – серы, 0,33–0,47 – меди, 0,42–1,35 – цинка, 0,32–0,58 – свинца, 0,1–0,15% мышьяка. Средний химический состав фосфогипса из апатитового концентрата следующий (%): Ca – 28,3; SO₃ – 55,5; P₂O₅ – 1,5; Sr – 1,8–2,0 (В.Г. Минеев, 2004).

В последние годы в качестве известкового материала стали использовать *карбонат кальция конверсионный (ККК)*, являющийся отходом производства сложных минеральных удобрений. Ежегодные объемы его накопления на заводах минеральных удобрений в Смоленской, Новгородской, Кировской и Воронежской области составляют сотни тысяч тонн. Этот продукт сильно загрязнен стабильным стронцием, что может привести к ухудшению соотношения Ca:Sr в почве. Низкие значения этого соотношения повышают

частоту заболевания населения рахитом, остеодистрофиями и другими опасными заболеваниями. Использование ККК должно сопровождаться контролем накопления стронция в почве и растениях. Следует с особой осторожностью использовать его в качестве мелиоранта на территориях с высоким уровнем загрязнения артезианских вод стабильным стронцием, к которым, в частности, относится Смоленская область.

В последние годы ведутся исследования по использованию широко распространенных в нашей стране *сапропелей* в качестве органического вещества и известкового удобрения. С ними возможно попадание в почву ТМ и токсичных соединений. В связи с этим необходимо предварительное выяснение их состава.

Все приемы по снижению опасности техногенного загрязнения почв ТМ можно разделить на две группы: агромелиоративные и биологические.

Приемами, направленными на удаление ТМ из корнеобитаемого слоя или на перевод их в трудноусвояемое для растений состояние являются известкование, обогащение почвы органическим веществом, фосфатами, использование различных сорбентов (например, цеолитов).

Из биологических приемов можно практиковать:

– выращивание растений-концентраторов для извлечения ТМ из почвы на сильно загрязненных полях, прежде всего, технических культур – льна, клещевины, картофеля (для получения спирта, крахмала), сахарной свеклы (для получения сахара), эфиромасличных культур (для получения растительных масел и сырья для парфюмерной промышленности) и лекарственных растений. В отдельных случаях можно выращивать семенники овощных и кормовых культур, а также культуры, из которых в пищу используют органы (части), слабо накапливающие ТМ (картофель, томаты, бахчевые культуры). На загрязненных ТМ полях нельзя выращивать овощные и кормовые культуры, используемые для производства продуктов питания и на корм скоту;

– адаптивную селекцию, направленную на выведение сортов с низким уровнем поглощения тяжелых металлов;

– использование эффекта «биологического разбавления массой» (суть его состоит в том, что с повышением урожайности, как правило, снижается относительное содержание ТМ в растительной массе);

– использование загрязненных почв для лесопосадок и выращивания декоративных растений.

По данным Л.Г. Бондарева (1976), на почвах, загрязненных ТМ, урожайность зерновых ниже на 20–30%, сахарной свеклы – на 35, бобовых – на 40, картофеля – на 47%, чем на незагрязненных почвах.

Калийные удобрения при внесении в оптимальных дозах не оказывают отрицательного влияния на окружающую среду, так как калий поглощается почвенными коллоидами, хорошо усваивается растениями, слабо мигрирует по почвенному профилю. На дерново-подзолистых и серых лесных почвах потери его при вымывании больше, чем фосфора и составляют 5–10 кг/га и более (на легких почвах).

Калий повышает качество урожая, устойчивость растений к болезням, полеганию. Для кормовых трав важным показателем является содержание K_2O в урожае: по данным ВНИИ кормов оно не должно превышать 3,5%. Высокие дозы калийных удобрений ухудшают соотношение калия к сумме кальция и магния. При отношении $K:(Ca+Mg) > 2,2-2,4$ и $K:Na > 6$ возрастает частота заболевания животных гипомagneзией. Оптимальным является отношение $K:(Ca+Mg) < 1,4$, а $K:Na = 5$.

С калийными удобрениями в почву попадает много хлора, который легко вымывается и попадает в водоемы, что может сделать воду непригодной для питья. Этот процесс особенно выражен на легких почвах. С 1 т КСI в почву попадает 350 кг хлора, примерно 10 кг которого усваивается растениями, а остальное количество – вымывается.

Калийные удобрения имеют важное экологическое значение на радиоактивно загрязненных территориях, так как они снижают поступление радионуклида ^{137}Cs в растения.

Значительный ущерб среде наносит бессистемное использование бесподстилочного навоза, навозных стоков и других отходов животноводства.

Для предотвращения потерь питательных элементов и снижения агрогенной нагрузки на почву следует руководствоваться следующими общими положениями:

- доза азота, вносимого с бесподстилочным навозом, навозными стоками и другими отходами животноводства не должна превышать 200 кг/га;

- вносить жидкий навоз следует под наиболее отзывчивые культуры, образующие обильную биомассу (многолетние травы, кукурузу, кормовые корнеплоды);

- использование промежуточных культур (уплотненные посевы) в севообороте практически предотвращает вымывание нитратов вследствие интенсивного использования их растениями;

- соблюдение сроков внесения, приближение их к периоду наибольшего потребления растениями элементов питания должно быть основным принципом использования жидкого навоза, особенно на супесчаных почвах, имеющих низкую поглотительную способность;

- по санитарно-гигиеническим требованиям бесподстилочный навоз следует использовать в качестве удобрения после шестимесячного хранения; вывезенный на поле навоз следует немедленно заделать в почву;

- на сенокосах и пастбищах между последним внесением бесподстилочного навоза и использованием трав на корм необходимо соблюдать карантинный период не менее 20 дней;

- в осенний период бесподстилочный навоз можно вносить в сочетании с соломой или зеленым удобрением, это значительно сокращает потери азота за счет его иммобилизации;

- недопустимо внесение бесподстилочного навоза на участках, где есть угроза затопления паводковыми водами;

– в природоохранных целях между зоной использования бесподстилочного навоза и водоемами следует оставлять защитную полосу шириной 20–100 м в зависимости от местных водоохранных условий;

– для предупреждения засорения полей и потерь азота при использовании бесподстилочного навоза его следует компостировать с торфом, соломой и другими влагоемкими материалами.

Таким образом, удобрения, являясь основой повышения урожайности и качества продукции, при неграмотном использовании способны нарушать экологическое равновесие природных систем. Отсюда особенно важным является овладение всем объемом знаний о научно-обоснованном использовании удобрений.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите экологические проблемы, связанные с неправильным использованием удобрений.
2. Как можно с помощью удобрений повысить зимостойкость озимых зерновых культур?
3. Как влияют удобрения на устойчивость растений к засухе?
4. На чем основано влияние удобрений на физиологические процессы, определяющие устойчивость растений к неблагоприятным условиям среды?
5. Как влияют микроэлементы на устойчивость растений к заболеваниям? Приведите примеры.
6. Назовите причины, приводящие к загрязнению окружающей среды при работе с удобрениями.
7. В чем проявляются последствия неграмотного применения азотных удобрений?
8. Что способствует накоплению нитратов в растениях?
9. Каков допустимый уровень содержания нитратов в растениеводческой продукции и воде?
10. Как можно снизить поступление нитратов в растения?
11. Что является причиной эвтрофикации водоемов?
12. Назовите источники загрязнения почвы и продукции тяжелыми металлами.
13. Как можно снизить поступление тяжелых металлов в растения?
14. Как сказывается на животных высокое содержание калия в пастбищном корме? Какие ограничения по его содержанию в сене вы знаете?
15. При каких нарушениях технологии использования органических удобрений появляется угроза загрязнения окружающей среды?

Литература

1. Гэлстон А., Дэвис П., Сэттер Р. Жизнь зеленого растения. – М.: Мир, 1983. 549 с.
2. Дерюгин И.П. Прокошев В.В. Калий и калийные удобрения. – М.: Ледум, 2000. 183 с.
3. Дерюгин И.П., Кулюкин А.Н. Питание и удобрение овощных и плодовых культур. – М.: Изд-во МСХА, 1998. 326 с.
4. Загрязнение воздуха и жизнь растений /Под ред. Майкла Трешоу. Пер. с англ. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 525 с.
5. Измайлов С.Ф. Азотный обмен в растениях. – М.: Наука, 1986. 320 с.
6. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях/Пер с англ. – М.: Мир, 1989.439 с.
7. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. – М.: Колос, 1996. 367 с.
8. Люттге У., Хигинботам Н. Перемещение веществ в растениях. М., 1984. 408 с.
9. Минеев В.Г. Агрохимия. – М.: Изд-во Московского университета, изд-во КолосС, 2004 г. 270 с.
10. Новикова Н.Е. Физиологическое обоснование роли морфотипа растений в формировании урожайности сортов гороха/ Дисс....д-ра с.-х. наук. Орел, 2002 г. 320 с.
11. Прянишников Д.Н. Азот в жизни растений и земледелии СССР.- Избр. Соч. М., 1955. Т.IV.
12. Соколов О.А., Черников В.А. Атлас распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды. Книга 1. – Пушино, 1999. 164 с.
13. Третьяков Н.Н., Кошкин Е.И. и др. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений. – М.: КолосС, 2005. 656 с.
14. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур. Справочник.М.:ВО «Агропромиздат», 1990 г. 235 с.
15. Черных Н.А., Милащенко Н.З. Ладонин В.Ф. Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами. – М.: Агроконсалт, 1999. 148 с.
16. Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений. Л.: Наука, 1974.- 323 с.
17. Якушкина Н.И. Бахтенко Е.Ю. Физиология растений. – М.: Владос, 2005. 463 с.
18. Bergmann W. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Farbatlas. Jena, 1983. 254 p.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение (Из истории развития взглядов на питание растений)	3
1 Современные представления о минеральном питании растений.....	10
1.1 Необходимые растениям химические элементы: физиологическое значение и усвояемые формы	10
1.1.1 Макроэлементы.....	11
1.1.2 Микроэлементы.....	32
1.2 Поступление минеральных веществ в корневую систему и транспорт в растении	41
1.2.1 Корень как орган поглощения питательных веществ	41
1.2.2 Механизмы поступления минеральных веществ в корень	46
1.2.3 Радиальный и восходящий транспорт элементов минерального питания	51
1.2.4 Влияние внешних и внутренних условий на поступление веществ в корневую систему	55
1.2.5 Ритмичность поступления ионов в корневую систему.....	61
1.3 Поступление азота в растения	64
1.3.1 Усвоение молекулярного азота	64
1.3.2 Усвоение нитратного и аммонийного азота.....	69
1.4 Микориза и ее значение в питании растений.....	77
1.5 Перераспределение и реутилизация веществ в растениях.....	78
1.6 Физиологическая реакция солей.....	82
2 Биологическая потребность в питательных элементах и организация питания растений	88
2.1 Вынос элементов питания и потребность в них на отдельных этапах онтогенеза.....	88
2.2 Физиологическая роль основного, припосевного (рядкового) удобрения и подкормок.....	97
2.3 Растительная диагностика питания растений	104
2.3.1 Визуальная и морфобиометрическая диагностика.....	105
2.3.2 Химическая диагностика.....	122
2.3.3 Дистанционная диагностика.....	129
2.3.4 Субмикрочастиц метод (инъекции и опрыскивания)	130
2.4 Приемы, сроки и способы внесения удобрений	132
2.5 Удобрение сельскохозяйственных культур.....	146
2.5.1 Озимые зерновые.....	146
2.5.2 Яровые зерновые.....	154
2.5.3 Зернобобовые культуры.....	158
2.5.4 Гречиха.....	164
2.5.5 Лен – долгунец.....	168
2.5.6 Картофель.....	171
2.5.7 Кукуруза.....	176

2.5.8 Сахарная свекла.....	182
2.5.9 Кормовые корнеплоды.....	185
2.5.10 Однолетние и многолетние травы	187
2.5.11 Овощные культуры.....	195
2.5.12 Плодовые и ягодные культуры.....	203
2.6 Выращивание растений без почвы	207
2.6 Инновационные технологии применения и получения удобрений.....	218
3 Экологические аспекты применения удобрений.....	229
3.1 Влияние удобрений на устойчивость растений к неблагоприятным условиям среды.....	229
3.2 Последствия неграмотного применения удобрений.....	236
Литература	253

Учебное издание

Самсонова Наталия Евгеньевна

**ОСНОВЫ МИНЕРАЛЬНОГО
ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ
ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ**

Учебное пособие

Печатается в авторской редакции

Физ. печ. л. 16

ФГБОУ ВО «Смоленская ГСХА»
214000, Смоленск, ул. Б. Советская, 10/2.