

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ДЕПАРТАМЕНТ РАСТЕНИЕВОДСТВА, МЕХАНИЗАЦИИ,  
ХИМИЗАЦИИ И ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
"Центрально-Черноземная государственная  
зональная машиноиспытательная станция"  
(ФГБУ «ЦЧ МИС»)

**РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ  
МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
ПО ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОМУ ВНЕСЕНИЮ  
МИКРОЭЛЕМЕНТНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Авторы работы

Директор

ФГБУ "Центрально-Черноземная МИС

М.Н.Жердев

Начальник отдела

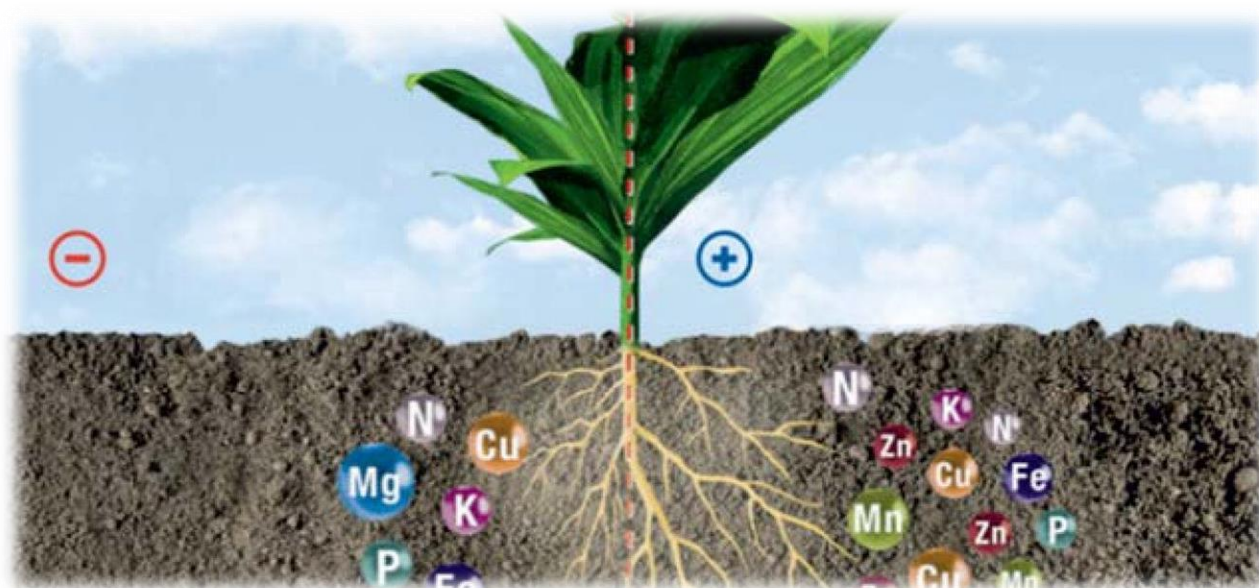
агротехнической оценки

Лихова А.А.

2022 г.

## ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЕ ВНЕСЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТНЫХ УДОБРЕНИЙ

Использование микроудобрений в посевах озимой пшеницы и ячменя вместе с внесением азота, фосфора и калия позволяет оптимально обеспечить культуру элементами питания, что повышает урожайность и качество зерна (рис. 1).



*Рисунок 1 – Влияние удобрений на рост и развитие растений*

Положительное действие микроэлементов обуславливается их участием в окислительно-восстановительных процессах, углеводном и азотном обмене. Они повышают устойчивость растений к болезням и неблагоприятным условиям внешней среды. Под действием микроэлементов в листьях увеличивается содержание хлорофилла, активизируются фотосинтетические процессы, усиливается ассимилирующая деятельность всего растения. Многие микроэлементы входят в состав активных центров ферментов и витаминов.

Микроэлементы могут образовывать комплексы с нуклеиновыми кислотами, оказывать влияние на физические свойства, структуру и физиологические функции рибосом, проницаемость клеточных мембран и поступление питательных веществ в растения.

Так, при нарушении питания микроэлементами снижается поступление аммонийного и нитратного азота. Наименьшее поглощение аммонийного

азота отмечается при дефиците молибдена, избытке кобальта и марганца. При недостатке меди и марганца уменьшается скорость поглощения нитратного азота. При избытке цинка в питательной среде снижается поглощение аммонийного азота, при дефиците меди оно возрастает. Нарушение питания молибденом и цинком приводит к увеличению разницы в поглощении аммонийного и нитратного азота (рис. 2).

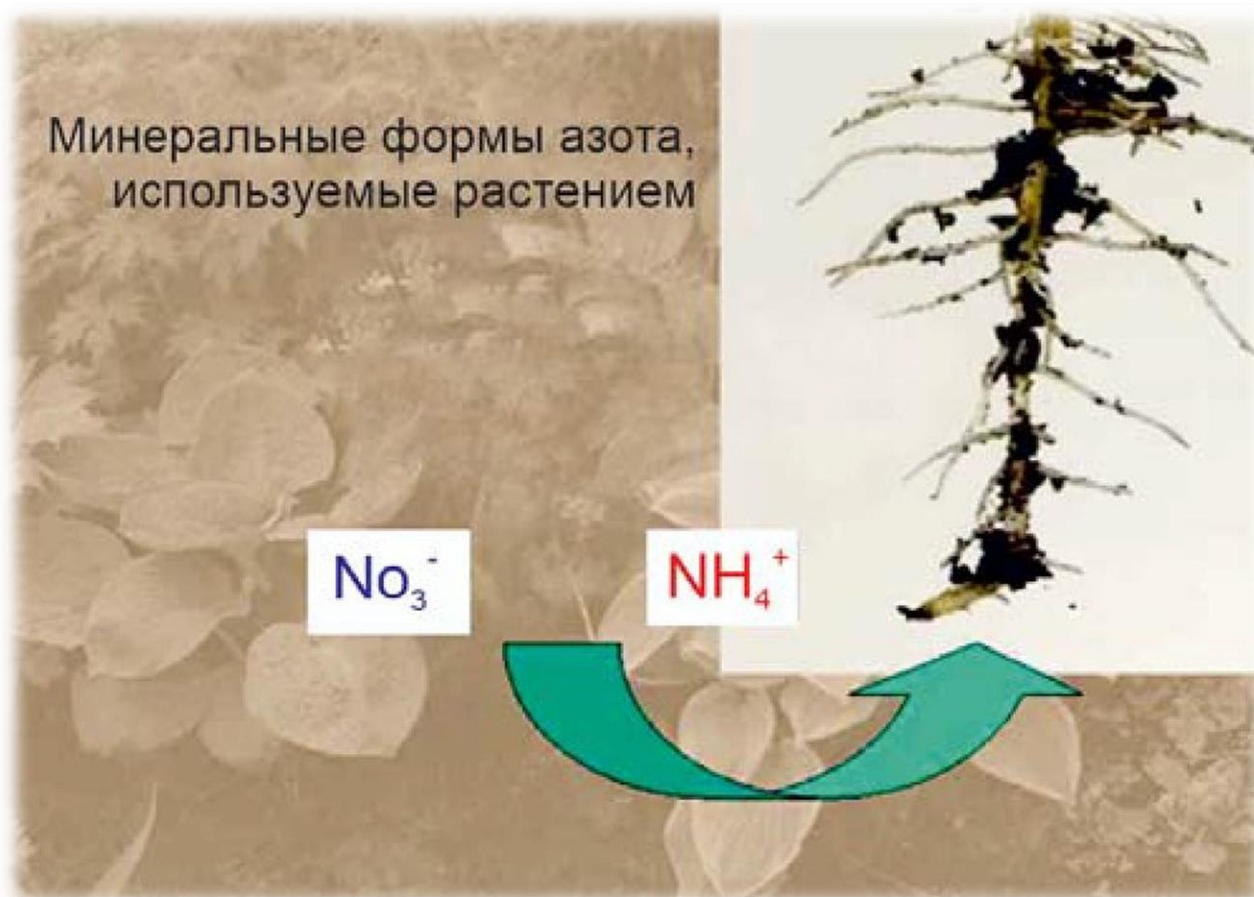


Рисунок 2 – Азотный обмен

В целом при нарушении питания микроэлементами снижается поступление нитратного азота, а кобальтом и цинком - скорость включения аммонийного азота в состав белков.

В ряде почвенно-климатических зон культуры отзывчивы на различные микроудобрения. Чаще всего это отмечается при длительном внесении высоких доз минеральных удобрений, особенно на орошаемых землях, осушенных торфянистых и легких по гранулометрическому составу почвах.

Растения по-разному накапливают микроэлементы, что является важным при использовании растениеводческой продукции, так как при содержании микроэлементов выше или ниже пороговых концентраций организм теряет способность регулировать процессы обмена веществ, что



проявляется развитием эндемических болезней.

В современных условиях интенсификации и химизации сельского хозяйства знание пороговых концентраций микроэлементов в растениях и кормах особенно актуально. Внесение микроэлементов обеспечивает значительную прибавку урожая сельскохозяйственных культур (рис.3).



*Рисунок 3 – Посевы озимой пшеницы*

За счет микроудобрений возможно повысить урожайность сельскохозяйственных культур в среднем на 10-12%. Наибольший эффект достигается в регионах, почвы которых бедны определенными микроэлементами. По данным крупномасштабного агрохимического обследования, низкая и средняя обеспеченность подвижным бором наблюдается на 37,3% общей площади пашни, молибденом - на 85,5, медью - 64,9, цинком - 94,0, кобальтом - 86,9, марганцем — на 52,5%.

Многочисленные исследования и практика сельскохозяйственного производства показали, что с помощью макро- и микроудобрений можно добиться наиболее быстрого и эффективного изменения химического состава растения, повышения качества и урожайности получаемой продукции. Особое значение при этом приобретает проблема оптимизации и регулирования показателей плодородия почв (рис. 4).



*а)*

*б)*

*Рисунок 4 – Развитие корневой системы растений:*

*а - неплодородная почва; б - плодородная*

Современные системы земледелия должны обеспечивать увеличение урожайности сельскохозяйственных культур, восстановление, сохранение и повышение плодородия почвы благодаря следующим факторам интенсификации земледелия: применение удобрений, мелиорация, механизация, почвозащитные, ресурсосберегающие и экологически чистые технологии.

Значительное место в системе земледелия отводится питанию растений. Питание - важнейший фактор в жизни растений, который с успехом поддается искусственному регулированию, а знание его особенностей - залог получения оптимального урожая с хорошими потребительскими качествами. Особое место отводится микроудобрениям, содержащим отдельные микроэлементы и их комплексы (рис. 5).



*Рисунок 5 – Схема питания растений*

Эффективность минеральных удобрений для листовой подкормки зависит от трех главных факторов: почвенного, растительного и экологического. Из них наиболее важен растительный фактор. С помощью листовых подкормок можно предотвратить перенасыщение почвы минеральными веществами и снизить риск возникновения экологических угроз. Эффективность питательных веществ при внекорневом питании способна достигать 85%, а при использовании почвенных удобрений - лишь 30-60 % (в зависимости от типа питательных веществ).

Одно из правил внекорневого питания растений заключается в соблюдении точной дозировки рабочего раствора. Известно, что эффективность листовой подкормки зависит от концентрации и дозы удобрения, которые не должны превышать определенную норму в целях предохранения листьев от ожогов. Большое значение для эффективности листового питания имеют также факторы внешней среды: влажность, температура, освещение. Чем выше относительная влажность, тем дольше

раствор остается на поверхности листьев, а количество питательных веществ, поступающих в растение, увеличивается. При более высокой температуре, когда усиливается испарение воды, поглощение ионов ограничивается, что может стать причиной ожога листьев.

В качестве питательных смесей при листовом питании наиболее эффективны хелатные формы удобрений, представляющие собой сложные органические соединения, максимально приближенные к природным веществам и наиболее доступные для живых организмов (рис. 6).



*Рисунок 6 – Схема строения молекулы хелатного удобрения*

Хелаты в отличие от обычных минеральных солей обеспечивают стабильность и высокую степень поглощаемости растениями, что существенно отражается на цене продукта. Иногда вместо них используют более дешевые комплексы органических кислот. Такие соединения менее стабильны и намного хуже усваиваются, но во многих случаях помогают откорректировать питание растений.

Листовые подкормки следует воспринимать как дополнительное питание, позволяющее оперативно реагировать на нехватку того или другого элемента не только по визуальным наблюдениям, но и на основе анализа растительной биомассы (рис. 7). При этом корректировка питания проводится в кратчайшие сроки, позволяя экономить трудозатраты и расходный материал.



*Рисунок 7 – Потребность растений в макро- и микроэлементах*



Одним из перспективных направлений оценки потребности растений в элементах питания является анализ листьев растений, т. е. растительная диагностика. Метод функциональной диагностики относится к качественным методам анализа и позволяет в течение часа определить потребность растений в 14 макро- и микроэлементах и дать рекомендации по проведению некорневых подкормок. Результаты функциональной диагностики применимы для большинства выращиваемых сельскохозяйственных растений.

ОАО «Буйский химический завод» в содружестве с российскими учеными разработал и предлагает аграриям портативную лабораторию функциональной диагностики «Аквадонис» (рис 8).



а)

б)



в)

*Рисунок 8 – Портативная лаборатория для листовой диагностики растений «Аквадонис»: а - фотометр; б - проведение анализа; в - выделение клеточного сока*

Эта мини-лаборатория позволяет проводить диагностику автономно, в любом месте, в том числе в полевых условиях (что важно для полевых культур, выращиваемых в открытом грунте) по следующим элементам: N, P, K, S, KCl, Ca, Mg, B, Cu, Zn, Mn, Fe, Mo, Co, I (йод). Включает в себя портативный фотометр Аквадонис и необходимый набор лабораторной посуды, принадлежностей, химических реактивов, размещенных в специальном контейнере.

Минеральное питание является одним из важных факторов, влияющих на рост и развитие растений, а в конечном итоге - на урожайность сельскохозяйственных культур. При этом его можно регулировать, но элементы питания могут быть недоступны для растений вследствие ряда причин.

Оптимальное питание растений может быть достигнуто только при комплексном, сбалансированном сочетании всех сопутствующих факторов роста и развития растений. Целенаправленное регулирование соотношения между элементами способно исключить антагонистические противоречия в питании и обеспечить максимальный синергетический эффект от применения удобрений. Однако на практике при существующих способах диагностики потребности растений в элементах питания их взаимное влияние практически не учитывается. Возможность задействования этого фактора возникла лишь при использовании способа функциональной диагностики.

Но данным способом определение потребности в каждом из элементов проводят обособленно от других компонентов питательной среды, в связи с чем невозможно оценить их взаимодействие и оптимальное соотношение, оказывающее определяющее действие на продуктивность растений и качество урожая. Нужно учитывать, что если дефицит элементов можно восполнить подкормками, то на их избыток известным способом влиять невозможно, так как избыточные элементы не могут быть извлечены из почвы.

Для усовершенствования функциональной диагностики требовалось формализовать модель взаимоувязанного факторного пространства по влиянию элементов питания на фотохимическую активность хлоропластов с тем, чтобы оценить долю влияния каждого из них и отсеять второстепенные. Получили математическую модель способом планирования эксперимента, когда испытывают не обособленно каждый из элементов питания, а неповторяющиеся их смеси и формализуют взаимоувязанное факторное пространство.

Были созданы программное обеспечение и оптимизационная компьютерная модель потребности растений в неограниченном количестве элементов питания, впервые учитывающие online-взаимодействие между ними.





*Рисунок 9 – Лаборатория «АквАдонис» для листовой диагностики в полевых условиях*

Уникальная особенность программы - возможность путем коррекции дозировок дефицитных элементов нейтрализовать негативное влияние на растения избыточных элементов в питательной среде, которые провоцируют антагонизм между ними. Это позволяет оперативно «по запросу растений» оптимизировать состав питательной среды и формировать сбалансированные удобрительные смеси.

Центрально-Черноземная машиноиспытательная станция совместно с ВНИИ земледелия защиты почв от эрозии провела государственные испытания агротехнологий возделывания озимой пшеницы и ячменя с применением микроэлементных удобрений для предпосевной обработки семян и листовых подкормок (табл. 1-2).

**Таблица 1 - Эффективность микроудобрений при возделывании озимой пшеницы**

Варианты опыта	Основные результаты испытаний:	
	прибавка урожайности зерна в среднем за 3 года, %	годовая экономия совокупных затрат денежных средств в расчете на 1 га, руб
<b>Обработка семян Аквамикс (100г/т)</b>	5,7	199,5
<b>Обработка семян Лигногумат (100г/т)</b>	9,7	1534,5
<b>Обработка семян Базик (200мл/т)</b>	6,8	588,2
<b>Обработка семян Аквамикс (100г/т)+ Базик (200мл/т)</b>	7,6	1312,07
<b>Обработка семян Лигногумат (100г/т)+ Базик (200мл/т)</b>	6,5	998,04
<b>Обработка семян Аквамикс (100г/т)+ листовая подкормка Акварин-15 (2кг/га) - 2 раза</b>	12,5	374,2
<b>Обработка семян Аквамикс (100г/т)+ листовая подкормка Базик (2л/га) - 2 раза</b>	13,8	631,14
<b>Обработка семян Аквамикс (100г/т)+ листовая подкормка Акварин-15 (1кг/га)+ Базик (1л/га) - 2 раза</b>	14,2	1476,4
<b>Обработка семян Аквамикс (100г/т) + листовая подкормка препаратами по методу Плешкова и Ягодина - 2 раза (с использованием лаборатории «Аквадонис»)</b>	15,2	2195,0
<b>Обработка семян Аквамикс (100г/т) + листовая подкормка препаратами по методу дробной реплики - 2 раза (с использованием лаборатории «Аквадонис»)</b>	16,7	2725,7

**Таблица 2 - Эффективность микроудобрений при возделывании ячменя**

Варианты опыта	Основные результаты испытаний:	
	прибавка урожайности зерна в среднем за 3 года, %	годовая экономия совокупных затрат денежных средств в расчете на 1 га, руб
<b>Обработка семян Аквамикс (100г/т)+ листовая подкормка Акварин-15 (2кг/га) - 2 раза</b>	12,7	1133
<b>Обработка семян Аквамикс (100г/т)+ листовая подкормка Базик (2л/га) - 2 раза</b>	11,4	-820
<b>Обработка семян Аквамикс (100г/т)+ листовая подкормка Акварин-15 (1кг/га)+ Базик (1л/га) - 2 раза</b>	17,9	873
<b>Обработка семян Аквамикс (100г/т) + листовая подкормка препаратами по методу Плешкова и Ягодина - 2 раза (с использованием лаборатории «Аквадонис»)</b>	20,8	1830
<b>Обработка семян Аквамикс (100г/т) + листовая подкормка препаратами по методу дробной реплики - 2 раза (с использованием лаборатории «Аквадонис»)</b>	21,5	2571

Экономико-экологическая эффективность инновации подтверждена Государственными испытаниями в трёхлетних опытах, проведенных на ячмене и озимой пшенице Центрально-Чернозёмной машиноиспытательной станцией совместно с ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии.

Анализ полученных данных показал следующее (рис. 10).





*Рисунок 10 – Результаты испытаний при возделывании озимой пшеницы и ячменя*

В целом применение микроудобрений на обработке семян и листовых подкормках позволило повысить на 22% урожайность ячменя и на 16,7% - озимой пшеницы. Сравнили между собой варианты листовых подкормок с индивидуальным испытанием элементов питания и с учётом взаимодействия между ними (метод дробной реплики). В последнем случае годовая экономия совокупных затрат возросла в 1,41 раза на ячмене и в 1,24 раза на озимой пшенице. Основным источником эффективности данного варианта является значительная экономия совокупных затрат (24-41%), полученная за счёт оптимизации использования удобрений, что попутно обеспечило и экологический эффект в виде щадящего химического воздействия на окружающую среду.

## Заключение

Современные технологии производства озимой пшеницы должны быть обеспечены не только макро-, но и микроэлементами питания. Потребность растений в микроудобрениях удовлетворяют предпосевным нанесением их на семена совместно с протравителями, а также листовыми подкормками. Оптимизацию питания растений проводят инновационным методом функциональной листовой диагностики, учитывающим синергию взаимодействия между элементами питания.

Эффективность микроудобрений зависит от способа доставки растениям. Внесение их в почву корневой подкормкой малоэффективно, так как велика вероятность связывания элементов питания в неподвижную форму почвенно-поглощающим комплексом. При корневой подкормке потери микроудобрений могут достигать 20-80%. Но удобрение ингредиент для питания сельскохозяйственных культур, а не почвы. Поэтому потребность растений в микроудобрениях удовлетворяют экономным совмещённым с протравливанием предпосевным нанесением на семена, а также на листья подкармливаемых растений.

По результатам проведенных испытаний применение микроудобрений на обработке семян и листовых подкормках позволило повысить на 22% урожайность ячменя и на 16,7% - озимой пшеницы. Сравнили между собой варианты листовых подкормок с индивидуальным испытанием элементов питания и с учётом взаимодействия между ними (метод дробной реплики). В последнем случае годовая экономия совокупных затрат возросла в 1,41 раза на ячмене и в 1,24 раза на озимой пшенице. Основным источником эффективности данного варианта является значительная экономия совокупных затрат (24-41%), полученная за счёт оптимизации использования удобрений, что попутно обеспечило и экологический эффект в виде щадящего химического воздействия на окружающую среду.