

На правах рукописи

ШАРКОВА САНИЯ ЮНУСОВНА

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗВЕСТКОВАНИЯ И ИНОКУЛЯЦИИ
ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ РИЗОАГРИНОМ НА СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ
ЛЕСОСТЕПИ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Специальность 03.00.16. – экология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой
степени кандидата биологических наук

Казань 2004

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Пензенская Государственная сельскохозяйственная академия»

Научный руководитель: доктор биологических наук,
профессор Надежкин Сергей Михайлович

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, старший
научный сотрудник Аканова Наталья Ивановна
кандидат биологических наук, старший
научный сотрудник Дегтярева Ирина
Александровна

Ведущее предприятие: Саратовский государственный аграрный
университет им. Н.И. Вавилова

Защита диссертации состоится 30 марта 2004 г. в 14 часов 30 минут на заседании диссертационного Совета Д 212.081.19 при Казанском государственном университете им. В.И Ульянова-Ленина по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского Казанского государственного университета

Автореферат разослан « » 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного Совета,
доктор химических наук

Г.А. Евтюгин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В условиях современного земледелия обеспечение растений азотным питанием продолжает оставаться одним из важнейших факторов регулирования продуктивности сельскохозяйственных культур. Отдавая должное техническому азоту еще Д.Н. Прянишников (1962) подчеркивал, что биологический и технический азот дополняют друг друга. По оценкам ФАО количество биологически фиксированного азота в два раза больше, чем азота промышленных удобрений (FAO soils..., 1982).

Из общего количества биологического азота на долю связываемого ассоциативными и свободноживущими микроорганизмами приходится около трети.

Регулирование процесса азотфиксации зависит от особенностей взаимодействия растения и диазотрофа в конкретных почвенно-климатических условиях. При оптимальном сочетании биотических и абиотических факторов количество ассоциативно фиксированного азота может достигать до 12-50 кг/га, а в неблагоприятных – снижаться практически до нуля. Одним из важнейших факторов, ограничивающих эффективную фиксацию азота, является повышенная кислотность почвенного раствора. В настоящее время в лесостепи Среднего Поволжья основная доля пахотных почв является средне- и слабокислыми.

Поэтому поиск путей повышения эффективности азотфиксации при возделывании важнейшей продовольственной культуры – пшеницы будет способствовать, как повышению ее урожайности, так и снижению количества необходимого промышленного азота.

Цель и задачи исследований. Целью работы является изучение эффективности инокуляции различных сортов яровой пшеницы ризоагрином в зависимости от известкования серой лесной почвы.

Были поставлены следующие задачи:

- выявить и количественно определить изменения в азотном фонде и содержании минеральных форм азота при известковании серой лесной почвы;
- изучить закономерности изменения физико-химических и биологических свойств серой лесной почвы при известковании и применении удобрений;
- выяснить влияние известкования, удобрений и инокуляции ризоагрином на фотосинтетическую деятельность растений различных сортов пшеницы, урожайность и качество зерна;
- установить долю биологического азота в формировании урожая яровой пшеницы и определить баланс биологического азота;
- дать энергетическую оценку применению известкования и удобрений.

Научная новизна работы. Определено влияние известкования и применения минеральных удобрений на азотный режим и физико-химические свойства серой лесной почвы. Установлены зависимости между физико-химическими свойствами и азотным режимом почвы. Азотминерализующая способность серой лесной почвы позволяет с достаточной точностью уста-

навливать величины доступного растениям азота почвы в течение предстоящего вегетационного периода с учетом гидротермических условий. В условиях правобережной лесостепи Среднего Поволжья впервые комплексно выявлено влияние инокуляции различных сортов яровой мягкой пшеницы на урожайность и качество зерна. Выявлена доля биологического азота в формировании урожая зерна пшеницы. Определены пути повышения эффективности ассоциативной азотфиксации.

Практическая значимость работы. Установление путей улучшения эффективности инокуляции ризоагрином позволило разработать и апробировать в условиях хозяйств Пензенской области комплекс приемов, способствующих повышению урожайности зерна яровой мягкой пшеницы на 0,25-0,38 т/га.

Результаты исследований могут быть использованы для оптимизации условий эффективного использования биопрепаратов diaзотрофных микроорганизмов.

Выявленное положительное действие ризоагрина на формирование урожая различных сортов пшеницы дает основание рекомендовать применение их в зоне Среднего Поволжья.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 7 глав, выводов и предложений. Работа изложена на 117 страницах машинописного текста, содержит 24 таблицы, 5 рисунков, 15 приложений. Список литературы включает 217 наименования, в том числе 14- на иностранных языках.

УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследований находились в правобережной лесостепи Среднего Поволжья. Полевые опыты проводили на участке размножения Леонидовского лесничества, расположенного в Пензенском районе Пензенской области.

Исследования проводили в 1997 – 2000 годах при значительных колебаниях, как количества выпавших осадков, так и температурного режима. Вегетационный период 1997 и 2000 гг. характеризовался как благоприятный для роста и развития яровой пшеницы. Гидротермический коэффициент составлял 1,13-1,49. В 1998 и 1999 гг. погодные условия были крайне неблагоприятными (ГТК 0,53-0,60).

Исследования проводили в полевом и микрополевым опытах.

В полевом опыте изучали эффективность инокуляции различных сортов яровой мягкой пшеницы ризоагрином (*Agrobacterium radiobacter*) в зависимости от известкования и применения минеральных удобрений. Схема опыта (2×2×2×4) ×4 со следующими факторами и градациями: А – известкование: 0- без известкования (контроль); 1 – известкование по 1,0Нг; В - фон минеральных удобрений: 0 – P₄₀K₄₀ (фон); 1 - N₃₀P₄₀K₄₀; С – использование ризоагрина: 0 – без обработки (контроль); 1 – инокуляция семян ризоагрином; D – сорта яровой мягкой пшеницы: 0 Л-503 (стандарт); 1 - Прохоровка; 2 - Ишевская ; 3- Пирамида.

Повторность в опыте – 4-х кратная, расположение вариантов рендомизированное в 2 яруса, общая площадь делянок 20 м², учетная – 15 м².

В микрополевоом опыте, проведенном в 1997-1999 гг. с пшеницей сорта Пирамида с применением ¹⁵N изучали количество ассоциативно фиксированного азота. Схема опыта: 2×2×2×(6) со следующими факторами и градациями: А – известкование: 0- без известкования (контроль); 1 – известкование по 1,0Нг; В - -фон минеральных удобрений: 0 – Р₄₀К₄₀ (фон); 1- ¹⁵N₃₀Р₄₀К₄₀; С – использование ризоагрина: 0 – без обработки (контроль); 1 – инокуляция семян ризоагрином;

В качестве азотного удобрения применяли аммиачную селитру (¹⁵NH₄¹⁵NO₃) с обогащением 48,94 ат%. Площадь делянок 0,25 м² (0,5×0,5 м).

Яровая пшеница (*Triticum aestivum*) размещалась в севообороте после картофеля, под который удобрения не применяли.

В качестве известкового удобрения использовали доломитовую муку Иссинского карьера с содержанием СаСО₃ – 77% и MgСО₃ – 17%. Известковые и фосфорно-калийные удобрения заделывались под основную обработку почвы осенью в сентябре. Азотные удобрения, согласно схемы опыта, вносили под предпосевную обработку почвы.

Инокуляцию увлажнённых семян ризоагрином (*Agrobacterium radiobacter* 200) проводили в день посева, с расходом на гектарную норму семян 600 г препарата, содержащего 6×10⁹ жизнеспособных клеток на 1 г.

Почва – серая лесная тяжелосуглинистая, в пахотном слое до внесения известковых и фосфорно-калийных удобрений характеризовалась следующими показателями: содержание гумуса 2,2 – 2,5%, N_{общ.} – 0,121-0,136%, рН_{сол} 4,9 – 5,1, Н_г – 3,62 – 3,85_{мэКВ.}, S – 17,1 – 18,5 мэКВ/ 100 г. почвы, V – 82,5 – 82,7%; Р₂О₅ – 20-28 мг, К₂О – 80-92 мг/кг почвы.

Агротехника возделывания пшеницы была общепринятой для серых лесных почв Пензенской области.

Все наблюдения, анализы и учёты проводили по общепринятым методикам. В почве определяли следующие показатели: содержание гумуса по методу Тюрина в модификации Симакова, общий азот – по Кьельдалю; легкогидролизуемый – по Тюрину-Кононовой; щелочногидролизуемый – по Корнфильду; обменный аммоний – в вытяжке 0,1Н КСl с окрашиванием реактивом Несслера, нитратный азот по Грандваль-Ляжу; фракционный состав азота – по Воробьёву в модификации Шконде – Королёвой; рН_{сол} – потенциметрически (Агрохимические методы ..., 1975, Методические указания ..., 1983). Азотминерализующую способность (АМС) почвы определяли по Башкину-Кудеярову (1986) и Стенфорду-Смиту (1972)

Фенологические наблюдения, подсчёт густоты стояния растений, накопление сухой и сырой массы, определение структуры урожая в сноповых образцах проводили по методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур.

Энергетическую эффективность применения удобрений рассчитывали по Булаткину Г.А. (1983, 1991).

Статистическая обработка результатов исследований проведена методами дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализа (Доспехов, 1985) на ПЭВМ с использованием пакетов прикладных программ для статистической обработки “Statgrafics” и “Statistica”.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АЗОТНЫЙ РЕЖИМ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ ПРИ ИЗВЕСТКОВАНИИ И ПРИМЕНЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Влияние известкования на азотный режим почвы

Содержание общего азота в 0-20 см слое почвы колебалось от 0,122 до 0,134% к массе почвы. Содержание легкогидролизуемого азота колебалось от 32 до 38 мг/кг почвы в пахотном слое. Известкование несколько увеличивало подвижность азота в серой лесной почве. Содержание щелочногидролизуемого азота, было выше легкогидролизуемого в 2,5-2,6 раза.

Экспериментальные данные показали, что большая часть органического почвенного азота была представлена негидролизуемыми и трудногидролизуемыми соединениями, доля которых в серой лесной почве достигала 88,0-85,0% от общего содержания азота. На долю легкогидролизуемой фракции приходилось 10,2-11,6 % общего азота.

Данные определения фракционного состава органических соединений почвенного азота в составе гумуса свидетельствуют о том, что в серой лесной почве отношение азота гуминовых кислот к азоту фульвокислот меньше единицы (0,94-0,96). Известкование, проведенное перед закладкой опыта осенью, не оказывало существенного влияния на соотношение азота в группах гумуса.

Вместе с тем, произошли существенные изменения во фракционном составе азотистых веществ, связанных с гумусовыми соединениями.

Наиболее наглядно это проявилось в снижении количества азота, связанного в полимерном комплексе с углеродом первой фракции гуминовых и фульвокислот и «агрессивной» - фульвокислот, с одной стороны, и с ростом количества азота, связанного с гуминовыми и фульвокислотами, предположительно связанными с кальцием.

Известкование серой лесной почвы вызывает рост «зрелости» состава азотистых веществ почвы, с одной стороны, и увеличение содержания минерального азота – с другой. В конкретных почвенно-климатических условиях лесостепи Среднего Поволжья это обусловлено, как физико-химическими, так и биологическими процессами в почве.

Анализ данных содержания минеральных соединений азота в пахотном слое почвы полевого опыта показал, что преимущественной формой азота в серой лесной почве является аммонийная, в форме обменного аммония. Количество минерального азота - величина непостоянная и изменяется по годам и в течение вегетации яровой пшеницы.

Известкование среднекислой серой лесной почвы и использование минеральных удобрений приводило к изменению режима минеральных форм азо-

та. Известкование увеличивало содержание обеих форм азота: нитратной на 29,8%, аммонийной - на 23,1%.

Под влиянием минеральных удобрений ($N_{30}P_{40}K_{40}$) содержание нитратного и аммиачного азота возрастало на 12-28% в зависимости от периода отбора образцов почвы. Причем, наибольший рост характерен для более благоприятного 1997 г.

Суммарной оценкой всех статей азотного баланса является установление потенциала минерализации или азотминерализующей способности почвы.

Изучение количественных показателей N_o и констант скорости (k) минерализации азота в зависимости от известкования и применения удобрений показало их значительную вариабельность. Количество потенциально минерализуемого азота (N_o) увеличивалось при известковании с 51 до 68 мг/кг почвы (табл. 1). Наибольшее его накопление при использовании полного минерального удобрения на ($N_{30}P_{40}K_{40}$) на фоне известкования – 123 мг/кг почвы.

Таблица 1

Влияние известкования и минеральных удобрений на количество потенциально минерализуемого азота, 1999-2000 гг.

Показатель	Ca ₀		Ca _{1,0}	
	PK	NPK	PK	NPK
метод Стенфорда-Смита				
Количество потенциально минерализуемого азота (N_o), мг/кг почвы	51	94	68	123
Период полураспада N_o , недель	18,5	20,6	25,1	23,2
Константа скорости минерализации (k), нед ⁻¹	0,03	0,03	0,02	0,04
	8	4	8	9
Минерализуемый азот за одну неделю, мг/кг	2,8	5,7	4,2	8,3
метод Башкина- Кудеярова				
Азотминерализующая способность: мг/кг	50	74	54	91
кг/га	98	148	110	156
Накопление азота за май-август	95	142	106	182

Скорость реакции минерализации органического азота колебалась от 2,8 до 8,3 мг/кг за одну неделю. Следует заметить, что эти данные получены при оптимальной температуре и увлажненности почвы. В полевых условиях константы скорости минерализации будут несколько меньшими даже при оптимальной кислотности почвы, что обусловлено колебаниями гидротермических показателей в течение вегетационного периода.

Изучение АМС почвы по методу Башкина-Кудеярова (1986) показало, что с изменением величины pH_{kcl} и при использовании удобрений она меняется. За вегетационный период (май-август) АМС возрастает с 50 кг/га на контроле до 74-91 кг/га при известковании и применении $N_{30}P_{40}K_{40}$.

Анализ полученных данных позволяет заключить, что определение азот-минерализующей способности позволяет с достаточной точностью устанавливать величины доступного растениям азота почвы в течение предстоящего вегетационного периода с учетом гидротермических условий и величины рН.

Действие доломитовой муки на физико-химические свойства серой лесной почвы

При известковании серой лесной почвы доломитовой мукой в дозе по 1,0 Нг величина рН_{ксл} уже на следующий год после внесения мелиоранта уменьшалась на 0,59-0,66 ед. (табл. 2). Применение доломитовой муки привело к значительному снижению гидролитической кислотности. К периоду уборки яровой пшеницы она снизилась на 0,83-1,33 мг-экв/100 г почвы. Известкование почвы вызывает рост количества обменно-поглощенных оснований в пахотном слое серой лесной почвы на 1,1-1,3 мг-экв/100 г почвы.

Таблица 2

Влияние известкования на физико-химические свойства серой лесной почвы, после уборки яровой пшеницы, сорт Л-503

Год	Вариант	рН _{ксл}	Нг		V, %
			мг-экв/100 г почвы		
1997	Ca ₀	5,08	2,71	11,6	81,1
	Ca _{1,0}	5,67	1,88	12,7	87,1
1998	Ca ₀	5,02	2,88	12,5	81,3
	Ca _{1,0}	5,69	1,62	13,8	89,5
1999	Ca ₀	5,01	2,80	12,3	81,5
	Ca _{1,0}	5,63	1,55	13,5	89,7
2000	Ca ₀	5,05	2,96	12,7	81,1
	Ca _{1,0}	5,71	1,63	13,9	89,5

Микрофлора и ферментативная активность серой лесной почвы

При использовании доломитовой муки происходило увеличение численности микроорганизмов, принимающих участие в трансформации азота в почве.

На известкованном фоне при использовании фосфорно-калийных удобрений численность микроорганизмов, утилизирующих органический азот (учет на МПА) была в 1,3 раза большей по сравнению с неизвесткованным фоном. Это, видимо, можно объяснить тем, что при известковании вокруг минеральных удобрений создаются микрзоны с нейтральной реакцией среды.

Применение одних минеральных удобрений (N₃₀P₄₀K₄₀) не вызывало каких-либо депрессий в развитии микрофлоры и не нарушало структуры микробного ценоза. Вместе с тем, во все годы проведения исследований использование полного минерального удобрения вызывало больший рост микроор-

ганизмов, утилизирующих минеральные формы азота (учитываемых на КАА), по сравнению с микроорганизмами, использующими преимущественно органический азот.

Отношение числа микроорганизмов, выросших на крахмало-аммиачном агаре (КАА) к количеству микроорганизмов на мясопептонном агаре (МПА) характеризует минерализационно-иммобилизационные процессы, происходящие в почве. Соотношение КАА/МПА в серой лесной почве было широким (1,18-1,54), что свидетельствует об активности минерализационных процессов. Следует отметить, что этот показатель довольно динамичен и изменяется в течение вегетационного периода.

Определение коэффициента минерализации свидетельствует о том, что весной в микробных ценозах исследуемых почв преобладала экологотрофическая группа микроорганизмов, потребляющих минеральные формы азота (коэффициенты минерализации $>1,5$), а осенью – микроорганизмы, утилизирующие азот органических соединений (коэффициенты минерализации 1,2-1,3), что, вероятно, связано с поступлением в почву свежих растительных остатков, богатых неразложившимся органическим веществом.

Применение невысоких доз минеральных удобрений не вызывало депрессию почвенной микрофлоры, а известкование способствовало росту биогенности серой лесной почвы.

Использование доломитовой муки, как на естественном фоне, так и при разных системах удобрения способствовало активизации азотгидролаз (протеазы и уреазы), участвующих на разных этапах минерализации азота. В условиях неустойчивого увлажнения лесостепи Среднего Поволжья активность протеазы изменялась в зависимости от погодных условий периода вегетации и удобрённости посевов пшеницы (табл. 3).

Уреазная активность в большей мере определялась складывающимися погодными условиями по сравнению с известкованием и минеральными удобрениями. Она была различной как по годам исследований, так и в течение вегетационного периода. В сухие годы (1998-1999) она снижалась в 1,2-1,3 раза по сравнению с более обеспеченными влагой (1997, 2000).

Из окислительно-восстановительных ферментов наибольший интерес представляет каталаза. Исследования показали, что активность каталазы мало зависела от погодных условий. В серой лесной почве наибольшее её содержание отмечалось во второй декаде мая (во время кущения пшеницы), далее – снижалась.

Действия удобрений на каталазную активность различно. Полное минеральное удобрение увеличивало ее в большей мере по сравнению с известкованием.

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ, УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

Формирование урожая яровой пшеницы

Исследования показали, что у пшеницы в течение трёх недель после появления всходов, в период перехода растений от питания за счёт пластических веществ к автотрофному, площадь листьев нарастала очень медленно,

как на удобренной почве так и без удобрения, её величина определялась погодными условиями. Весной и в начале лета 1997, 2000 гг. листья были хорошо развиты уже к периоду кущения. В 1998-1999 гг. резкое снижение влажности почвы в этот период задержало развитие листовой пластины, и площадь её была в полтора раза меньше.

Таблица 3

Влияние известкования на гидролитических ферментов в слое почвы 0-20 см, сорт Л-503

Год	Известкование	Удобрения	Протеаза мкмоль лейцина на 1 г почвы	Уреаза мг. NH ₄ на 100 г. почвы	Инвертаза мг. глюкозы на 100 г. почвы	Каталаза мл. 0,1 н KMnO ₄
1997	Са ₀	PK	14,7	15,6	25,1	2,01
		NPK	17,2	12,9	23,8	2,48
	Са _{1,0}	PK	21,2	18,5	28,1	2,17
		NPK	25,3	16,4	27,2	2,94
1998	Са ₀	PK	10,5	13,1	28,2	2,26
		NPK	14,2	11,6	25,9	2,97
	Са _{1,0}	PK	13,4	18,3	32,2	2,31
		NPK	18,3	16,2	30,6	2,44
1999	Са ₀	PK	11,3	12,9	18,5	1,85
		NPK	14,2	10,7	14,2	1,65
	Са _{1,0}	PK	16,1	15,8	20,4	2,04
		NPK	20,8	14,2	19,3	1,98
2000	Са ₀	PK	12,4	14,0	20,4	2,34
		NPK	15,7	11,5	22,6	2,55
	Са _{1,0}	PK	19,5	21,2	23,5	2,45
		NPK	24,2	17,6	24,1	2,33

Интенсивный рост площади листьев начался с фазы кущения и продолжался вплоть до колошения. В дальнейшем листья сравнительно быстро отмирали, и их площадь уменьшалась до окончания вегетации. Эти закономерности были отмечены как на удобренных, так и неудобренных вариантах.

Удобренные фоны способствовали усилению ростовых процессов, что проявлялось в положительном действии всех систем удобрения на развитие площади листовой поверхности. В среднем за 4 года к моменту колошения пшеницы наибольшая площадь листьев (19,6 тыс. м²) была при использовании ризоагрина на фоне известкования и полного минерального удобрения.

Известкование почвы, в среднем за годы исследований обеспечивало рост ассимиляционной поверхности на 13%, применение N₃₀ на фоне P₄₀K₄₀ – на 21,4%, инокуляция семян пшеницы ризоагрином перед посевом – на 3,5% (табл. 4).

В начальный период интенсивного образования листьев чистая продуктивность фотосинтеза возрастала независимо от применяемых систем удоб-

рения. Начиная с фазы цветения, чистая продуктивность падала, а вместе с ней и суточные приросты сухого вещества. Вероятно, это связано с процессом старения и ослабления функционирования ассимилирующих тканей, а также с ухудшением в интерактивный период снабжения корней ассимилятами, образующимися в листьях, вследствие отторжения их на процессы, связанные с образованием семян.

Таблица 4

Динамика площади листовой поверхности яровой пшеницы сорта Л-503, тыс. м²/га, среднее за 1997 – 2000 гг.

Известкование	Фон	Вариант	Фаза развития			
			всходы	кущение	выход в трубку	колошение
Са ₀	РК	без инокуляции	1,4	6,3	10,1	13,9
		ризоагрин	1,4	6,5	10,3	14,2
	NPK	без инокуляции	1,7	8,6	13,4	16,6
		ризоагрин	1,7	8,8	13,8	17,3
Са _{1,0}	РК	без инокуляции	1,6	7,4	12,3	15,6
		ризоагрин	1,7	7,6	12,7	15,9
	NPK	без инокуляции	2,0	9,7	14,4	18,9
		ризоагрин	2,0	10,2	15,3	19,6

Инокуляция семян пшеницы ризоагрином увеличивала нарастание сухой массы растений во все фазы роста. Особенно эффективно их действие отмечалось на удобренных фонах. Так, в фазу выхода в трубку наблюдалось увеличение сухого вещества на 3 – 13 %, в фазу молочно-восковой спелости зерна на 27 – 43 % по сравнению с контролем.

Данные математической обработки основных элементов фотосинтетической продуктивности пшеницы показали наличие сильной корреляционной связи между суточными приростами сухой биомассы и площадью листовой поверхности. Между приростами биомассы и чистой продуктивностью фотосинтеза корреляционная зависимость была средней, а между площадью листьев и чистой продуктивностью фотосинтеза наблюдалась отрицательная зависимость.

Изменение основных элементов фотосинтетической продуктивности пшеницы под действием удобрений и биологических препаратов сказалось на урожайности этой культуры.

Урожайность различных сортов яровой пшеницы

Агроэкологическая оценка значимости любого агротехнического приема складывается из нескольких показателей, важнейшим из которых является продуктивность возделываемой культуры. Урожайность яровой пшеницы определялась сортавыми особенностями, известкованием, применением минеральных удобрений и инокуляции ризоагрином а также различиями в гидро-термических условиях периода вегетации.

В среднем за 4 года наибольшую продуктивность обеспечивало возделывание сорта Пирамида, далее в убывающей последовательности располагались Ишеевская, Л-503 и Прохоровка (табл. 5).

Таблица 5

Урожайность зерна яровой пшеницы в зависимости от известкования и инокуляции ризоагрином среднее за 1997-2000 гг.

Известкование	Фон	Вариант		Л-503	Прохоровка	Ишеевская	Пирамида	Среднее по сортам
Са ₀	РК	Без инокуляции		1,25	1,20	1,34	1,38	1,29
		Ризоагрин		1,36	1,30	1,47	1,62	1,44
		Прибавка от инокуляции	т/га	0,11	0,10	0,13	0,24	0,15
			%	8,8	8,3	9,7	17,4	11,6
	N РК	без инокуляции		1,49	1,39	1,57	1,74	1,55
		ризоагрин		1,58	1,44	1,68	1,84	1,64
		прибавка от инокуляции	т/га	0,09	0,05	0,11	0,10	0,09
			%	6,0	3,6	7,0	5,7	5,6
Са 1,0	РК	без инокуляции		1,38	1,27	1,42	1,51	1,40
		ризоагрин		1,60	1,43	1,61	1,86	1,62
		прибавка от инокуляции	т/га	0,22	0,16	0,19	0,35	0,22
			%	15,9	12,6	13,4	23,2	15,7
	N РК	без инокуляции		1,79	1,58	1,78	2,08	1,81
		ризоагрин		1,88	1,67	1,85	2,21	1,90
		прибавка от инокуляции	т/га	0,09	0,09	0,08	0,13	0,09
			%	5,0	5,7	4,5	6,2	5,0

НСР₀₉₅: частных различий 0,32 0,26 0,24 0,37

известкования, удобрений, инокуляции 0,13 0,11 0,11 0,12

Отзывчивость различных сортов на изучаемые в опыте приемы была неодинаковой, что обусловлено генотипическими их особенностями. В среднем по всем сортам известкование серой лесной почвы доломитовой мукой по полной гидролитической кислотности обеспечило рост урожайности на 0,2 т/га (+ 13,5%). По сортам прибавка урожайности значительно колебалась: наименьшая прибавка 9,2-12,0% получена при возделывании сортов соответ-

ственно Ишеевская и Прохоровка, наибольшая – 16,9-17,1 – у сортов Л-503 и Пирамида.

Эффективность доломитовой муки в значительной мере определялась применяемыми минеральными удобрениями. Если на фоне $P_{40}K_{40}$ прибавка урожая от известкования составляла 5,8 – 6,0 – 9,4 – 10,4% соответственно у сортов Прохоровка, Ишеевская, Пирамида и Л-503 то, при использовании $N_{30}P_{40}K_{40}$ она возросла до 14,5 – 13,4 – 19,5 – 20,1%.

Использование N_{30} на фоне $P_{40}K_{40}$ также обеспечивало получение неодинакового дополнительного урожая. В среднем за годы исследований она составила 16,9 – 17,8 – 23,9 – 20,0% соответственно у сортов Прохоровка, Ишеевская, Пирамида и Л-503.

На неизвесткованном фоне эти прибавки были равны 15,8 – 17,2 – 26,1 – 19,2%, а на известкованном – 24,4 – 25,3 – 37,7 – 29,7% соответственно в указанной выше последовательности сортов.

Введение в ризосферу пшеницы ризоагрина обеспечивало в целом положительный эффект, однако его действие определялось сортовыми особенностями, известкованием и предварительной удобренностью и была наибольшей у сорта Пирамида. Прибавка урожая за 4 года составила 0,24 т/га, или 17,4 %. В порядке убывания она снижалась по сортам Л-503, Ишеевская, Прохоровка.

На неизвесткованном фоне эффективность инокуляции была невысокой и не превышала 0,05-0,24 т/га, или 3,6-17,4%. Снижение кислотности путем известкования оказало положительное влияние на рост урожайности яровой пшеницы всех изучаемых сортов под действием обработки ризоагрином. Рост продуктивности при этом составлял 0,16-0,35 т/га или 12,6-23,2% к контролю соответственно у сорта Прохоровка и Пирамида. Вероятно это связано с тем, что создались благоприятные условия не только для растений, но и ризосферных микроорганизмов.

Эффективность инокуляции во многом определялась условиями увлажнения. Так, во влажные годы у сортов Л-503 и Пирамида на фоне без использования азота прибавка урожая от известкования составляла 0,15-0,20 и 0,16-0,23 т/га соответственно, а в сухие – не превышала 0,07-0,09 и 0,06-0,08 т/га, т.е была статистически недоказуемой.

Качество зерна пшеницы

Наибольшим содержанием белка (13,5% в среднем за 3 года) характеризовались сорта Пирамида и Л-503, наименьшим - сорт Прохоровка.

Положительное влияние известкования на белковость пшеницы, в среднем за годы исследований носило характер тенденции и было несущественным у всех сортов.

Под влиянием N_{30} на фоне $P_{40}K_{40}$ она возросла у сорта Л-503 на 1,0-1,9%, Проохоровки – на 1,2-1,8, Ишеевской на 1,3-1,9 и Пирамиды – на 1,3-2,3%. При этом четко проявилось положительное взаимодействие известкования и применения минерального азота на всех изучаемых сортах пшеницы.

Влияние реакции почвы на содержание белка в зерне по видимому было не только прямым, но и проявлялось через изменение азотного режима серой лесной почвы. При росте содержания нитратного азота, нитрифицирующей и азотминерализующей способности белковость повышалась ($r=0,88-0,93$).

Исследованиями установлено, что наименьшим содержанием клейковины, независимо от реакции почвы и погодных условий характеризовались сорта Ишеевская (19,2-24,1%) и Прохоровка (18,7-23,7%). Районированный сорт Л-503 в среднем за три года имел 22,8-27,7% сырой клейковины. Наиболее качественным было зерно у сорта Пирамида (22,9-28,4%).

В засушливых условиях количество клейковины было выше, чем в год с нормальным увлажнением.

Известкование способствовало повышению количества клейковины вне зависимости от погодных условий в среднем за четыре года на 0,4-1,0%. Доломитовая мука усиливала положительное действие удобрений и содержание клейковины повышалось на 1,6-5,5% к контролю.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ФИКСАЦИЯ АЗОТА

В микрополевым опыте эффективность инокуляции определялась как кислотностью почвы и фоном минеральных удобрений, так и гидротермическими условиями периода вегетации.

По всем вариантам опыта наибольший урожай зерна был получен в более благоприятном 1997 г. При этом известкование обеспечивало сбор дополнительно 4,0-7,5 г/делянку зерна (табл. 6). Минеральные удобрения, независимо от других изучаемых факторов способствовали повышению урожайности зерна на 7,0-15,5 г/делянку.

Инокуляция семян яровой пшеницы сорта Пирамида ризоагрином оказала положительное действие на урожайность в 1997 г. при этом на фоне без применения доломитовой муки рост урожайности составил 11,0 г/делянку, а на известкованном фоне - 15,0 г/делянку (соответственно 25,3 и 31,5% к неинокулированному варианту).

Применение N_{30} на фоне $P_{40}K_{40}$ существенно ослабило действие инокуляции – при этом рост урожайности на аналогичных вариантах составил 2,5-3,0 г/делянку, т.е. был статистически недоказуемым.

Влияние изучаемых приемов на продуктивность нетоварной части урожая было аналогичным.

Изменение условий питания оказало неравнозначное влияние на содержание азота в зерне и соломе яровой пшеницы.

Использование минерального азота обеспечило рост содержания азота в зерне на 0,17-0,42% по сравнению с фосфорно-калийным фоном.

Во все годы исследований наибольший вынос азота в урожае яровой пшеницы был характерен для зерна. При этом в благоприятный по увлажнению год доля зерна в общем выносе азота составляла 83,9-85,1%, а в засушливые годы снижалась до 73,5-80,8% от суммарного выноса.

Применение как N_{30} , так и ризоагрина на фоне фосфорно-калийного удобрения способствовало некоторому росту доли зерна в общем выносе азота пшеницей.

В среднем за 3 года проведения исследований растения пшеницы сорта Пирамида потребляли из почвы 795-1405 мг/делянку азота. Использование доломитовой муки способствовало росту выноса азота на 129-320 м/делянку.

Применение азота в дозе N_{30} на фоне $P_{40}K_{40}$ вызвало увеличение общего выноса азота пшеницей на 36,5%. При этом, на известкованном фоне увеличение выноса составило 16,5-22,4%, а на неизвесткованном – 5,6-10,2%.

Таблица 6

Урожайность зерна яровой пшеницы в зависимости от известкования и инокуляции ризоагрином, г/делянку, сорт Пирамида

Фон	Вариант	1997 г.	1998 г.	1999 г.
Ca ₀	PK	43,5	23,5	28,5
	PK+ ризоагрин	54,5	26,8	32,2
	NPK	59,0	28,2	33,5
	NPK+ ризоагрин	61,5	29,5	36,5
Ca _{1,0}	PK	47,5	25,0	30,5
	PK+ ризоагрин	62,2	29,8	35,0
	NPK	67,8	32,8	41,5
	NPK+ ризоагрин	70,8	35,0	45,2

НСР ₀₉₅ : частных различий	6,22	5,31	4,84
известкования	4,13	3,18	3,42
минеральных удобрений	4,13	3,18	3,42
инокуляции	4,13	Fфакт.<F ₀₅	Fфакт.<F ₀₅

Общее количество биологического азота, принимающего участие в азотном питании яровой пшеницы сорта Пирамида составляло 16,8-20,5% от общего выноса (табл. 7).

На неизвесткованном фоне количество фиксированного азота составило 16,8% от общего выноса, а при известковании оно возросло до 20,5% от выноса.

Наибольшее ингибирующее действие на проявление ризосферной активности оказало применение азота на фоне фосфорно-калийного удобрения (P₄₀K₄₀). При этом доля фиксированного азота снижалась до 9-11,8%.

Складывающиеся погодные условия неодинаково воздействовали на размеры фиксации азота и его потребления растениями пшеницы. Если в 1997 г. суммарное усвоение атмосферного азота растениями достигало 189-426 мг/делянку, то в засушливый 1998 г. оно не превышало 79-151 мг/делянку, или было в 2,4-2,8 раза меньше.

Таблица 7

Вынос азота растениями яровой пшеницей сорта Пирамида в зависимости от известкования и инокуляции семян ризоагрином, среднее за 1997-1999 гг.

Известкование	Фон	Вариант	Общий вынос, мг/дел	Использовано из							
				почвы		удобрений		фиксированного		"экстра" азот	
				мг/дел.	% от выноса	мг/дел.	% от выноса	мг/дел.	% от выноса	мг/дел.	% от выноса
Ca 0	PK	контроль	795	795	100	-	-	-	-	-	-
		ризоагрин	955	795	83,2	-	-	160	16,8	-	-
	NPK	контроль	1085	891	82,1	194	17,9	-	-	96	8,8
		ризоагрин	1369	891	65,1	151	11	123	9	96	7
Ca 1,0	PK	контроль	924	924	100	-	-	-	-	-	-
		ризоагрин	1162	924	76,5	-	-	238	20,5	-	-
	NPK	контроль	1405	1145	81,5	260	18,5	-	-	221	15,7
		ризоагрин	1518	1145	75,5	193	12,7	179	11,8	221	14,6

Энергетическая эффективность применения удобрений

Расчеты энергетической эффективности показали, что затраты на внесение удобрений под яровую пшеницу составили 3030 – 33746 МДж/га. Использование доломитовой муки увеличивало энергозатраты, значения которых колебались от 7800 МДж/га на варианте без удобрений до 41546 МДж/га на варианте NPK.

Наименьшие энергозатраты на гектар посевов пшеницы отмечены при использовании фосфорно-калийных удобрений – 3030 МДж. На известкованном фоне энергозатраты возросли при применении доломитовой муки в 1,2–3,6 раза. При этом в зависимости от системы удобрения на фоне известки затраты росли непропорционально.

Расчеты показали, что биоэнергетический КПД при использовании различных систем удобрения составил 0,25 – 1,48.

Максимальный КПД получен на варианте с использованием минеральных удобрений, минимальный – на варианте с ризоагрином. Известкование снижало энергоотдачу на всех вариантах опыта.

ВЫВОДЫ

1. Азотный режим серой лесной почвы во многом определяется реакцией почвенной среды. Известкование способствует увеличению количества азота в более зрелых соединениях гумусовых веществ. Под влиянием известкования накопление минеральных форм азота в пахотном слое серой лесной почвы увеличивается на 15-20%, в основном, за счет роста содержания нитратного азота. Это обусловлено повышением биологической активности, проявляющейся как ростом количества микроорганизмов, так и усилением ферментативных процессов, участвующих в круговороте азота.

2. Азотминерализующая способность серой лесной почвы при известковании возрастает в 1,2-1,3 раза. Сочетание применения минеральных удобрений и известкования способствует росту количества потенциально минерализуемого азота с 51 до 94-128 мг/кг почвы. Полученные количественные показатели азотминерализующей способности позволяют корректировать дозы внесения азотных удобрений под зерновые культуры в зависимости от уровня реакции почвенной среды.

3. Применение доломитовой муки способствует росту биологической активности почвы: количество микроорганизмов, утилизирующих органический азот, возрастает в 1,48 раза, количество нитрификаторов — в 1,9-2 раза, численность грибов снижается. Известкование повышает активность азотгидролаз, участвующих на разных этапах минерализации азота.

4. Преимущественной формой минерального азота в серых лесных почвах правобережной лесостепи Среднего Поволжья является аммонийная, в виде обменного аммония. Количество минерального азота ($N-NO_3^-$, $N-NH_4^+$) — величина непостоянная, изменяющаяся по годам, в период вегетации культур и в зависимости от уровня окультуренности почвы. Наибольшее накопление доступного для растений азота отмечается в слабозасушливые годы.

5. В период вегетации яровой пшеницы независимо от систем удобрения и известкования почвы минимальное количество нитратного азота отмечается перед посевом и в фазу полной спелости зерна, аммонийного — начиная со второй половины вегетации, максимальное количество $N-NO_3^-$ — в середине лета (трубкование-колошение пшеницы), а $N-NH_4^+$ — в начале вегетации. Установлены зависимости между кислотными свойствами почвы и содержанием нитратного азота.

6. Процессы накопления щелочных и кислых продуктов в почве, представленных аммонийным и нитратным азотом, сопровождаются изменениями в кислотных свойствах серой лесной почвы. При дезаминировании и аммонификации аминокислот наблюдается подщелачивание почвы, что приводит к снижению гидролитической кислотности и повышению величины pH_{kcl} . При преобладании процессов нитрификации кислотность почвы увеличивается.

7. Эффективность известкования среднекислой серой лесной почвы под яровую пшеницу проявляется только в годы с достаточным увлажнением. Использование минеральной системы удобрения в сочетании с известко-

ванием обеспечивает достоверное влияние на урожайность пшеницы и в засушливые годы.

8. Эффект от инокуляции семян пшеницы ризоагрином на серой лесной почве зависит от уровня кислотности и предварительной удобренности почвы. На естественном фоне применение биологического препарата дает достоверную прибавку урожая только в благоприятные по увлажнению годы. На предварительно известкованном фоне дополнительный сбор урожая от инокуляции в 0,16-0,35 т/га в зависимости от сорта, на неизвесткованном – 0,10-0,24 т/га. Добавление к фосфорно-калийному фону минерального азота вызывает ингибирование ассоциативной азотфиксации.

9. Общее количество биологического азота, принимающего участие в азотном питании яровой пшеницы сорта Пирамида составляет 16,8-20,5% от общего выноса.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Для улучшения физико-химических свойств и азотного режима серых лесных почв рекомендуется проводить известкование доломитовой мукой по полной гидролитической кислотности.

2. Для повышения урожайности и улучшения качества зерна мягкой яровой пшеницы необходимо проводить инокуляцию семян ризоагрином в сочетании с применением фосфорно-калийных удобрений.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Надежкина Е.В. Качество зерна яровой мягкой пшеницы в условиях техногенного загрязнения/ Е.В. Надежкина, С.Ю. Шаркова // Материалы Международной научно-практической конференции «Экологические аспекты интенсификации сельскохозяйственного производства» Пенза, 2002.- С. 128-131

2. Шаркова С.Ю. Экологическая роль вермикультуры / С.Ю. Шаркова // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры почвоведения и агрохимии Пензенской ГСХА «Проблемы плодородия почв на современном этапе». Пенза, 2002.- С. 62-64.

3. Надежкина Е.В. Влияние удобрений на азотный режим серой лесной почвы / Е.В. Надежкина, С.М. Надежкин, С.Ю. Шаркова, Н.Е. Глазкова // Материалы 41-ой научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов агрономического факультета Пензенской ГСХА «Проблемы повышения эффективности сельскохозяйственного производства в 21 веке». Пенза, 2002.- С. 106-109.

4. Надежкина Е.В. Качественный состав азотного фонда и его изменение под действием удобрений / Е.В. Надежкина, С.Ю. Шаркова, М.В. Щанкина// там же. С. 52-54.

5. Надежкина Е.В. Приемы снижения тяжелых металлов в системе почва-растение /Е.В. Надежкина, С.Ю. Шаркова // Материалы Международной

научно-практической конференции «Проблемы аграрной отрасли в начале 21 века». Пенза, 2002.- С. 72-75.

6. Надежкина Е.В. Агроэкологические аспекты изменения содержания тяжелых металлов в почвах лесостепи Поволжья/ Е.В. Надежкина, С.Ю. Шаркова // Проблемы агропромышленной отрасли в начале 21 века. Материалы международной научно-практической конференции. Смоленск, 2002, ч. 3, С. 143-146

7. Шаркова С.Ю. Влияние удобрений и известкования на пищевой режим серой лесной почвы и качество зерна яровой пшеницы / С.Ю. Шаркова, Ю.В. Корягин // Материалы научно-практической конференции «Проблемы АПК и пути их решения». Пенза, 2003.- С. 58-61

8. Шаркова С.Ю. Урожайность зерна пшеницы при инокуляции ризоагрином /С.Ю. Шаркова // Сборник материалов научно-практической конференции к 75 летию со дня рождения профессора Г.Б. Гальдина, Пенза, 2003.- С. 176-178

9. Надежкин С.М. Экологические аспекты влияния известкования на азотный режим серых лесных почв / С.М. Надежкин, С.Ю. Шаркова // Материалы международной конференции, посвященной 50-летию кафедры общего земледелия Пензенской ГСХА. Пенза, 2004.- С. 112-114