

Шерстобитов Сергей Владимирович

**ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЕ ВНЕСЕНИЕ АЗОТНЫХ
УДОБРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ
СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ**

Специальность 06.01.04 – агрохимия

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук**

Москва 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Государственный аграрный университет Северного Зауралья»

- Научный руководитель:** доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Абрамов Николай Васильевич
- Официальные оппоненты:** **Иванов Алексей Иванович**
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», отдел физико-химической мелиорации и опытного дела,
заведующий отделом физико-химической мелиорации
Конончук Вадим Витальевич
доктор сельскохозяйственных наук, ФГБНУ
«Московский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»,
Технологический центр по земледелию,
руководитель Технологического центра по земледелию
- Ведущая организация:** **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный аграрный университет»**

Защита диссертации состоится «24» декабря 2015 года в 14⁰⁰ час. на заседании диссертационного совета Д.006.029.01 при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова». Адрес: 127550, Москва, ул. Прянишникова, 31а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова и на сайте: <http://www.vniia-pr.ru/zashita/sherstobitov.htm>.

Автореферат разослан «___» _____ 2015 г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета. Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять по адресу: 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а, учёному секретарю диссертационного совета. E-mail: dissovet_vniia@mail.ru.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Никитина Любовь Васильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Почвенный покров в Западной Сибири неоднороден. Даже на одном поле может находиться несколько типов и видов почв с резкими колебаниями показателей их плодородия. В рекомендациях производству учёные предлагают элементы технологии для конкретной почвы, что в реальных условиях товаропроизводителю трудно выполнить из-за существующей пестроты полей по почвенному плодородию. Геоинформационные системы позволяют обработать большой спектр данных о космических и земных факторах продуцирования агроэкосистем, сделать глубокий анализ их значимости в формировании продуктивности растений и разработать технологию возделывания культур для хозяйства, поля и конкретного участка с учётом состояния почвенного плодородия и требования растений (Якушев В.П., 1999; Кирюшин В.И., Власенко А.Н., 2002; Афанасьев Р.А., 2010; Абрамов Н.В., 2013).

Важным элементом питания в получении высоких урожаев сельскохозяйственных культур является азот, который из агрохимических показателей плодородия почв Тюменской области находится в минимуме.

Использование балансового метода для расчета минеральных удобрений в среднем по полям севооборотов не обеспечивает сбалансированность минерального питания агроценозов из-за большой пестроты полей. Решить проблему равномерности азотообеспечения культурных растений позволит дифференцированное внесение минеральных удобрений с учетом содержания их в почве по элементарным участкам и планируемой урожайности культур при использовании космических систем.

Цель исследования: установить влияние дифференцированного внесения азотных удобрений при посеве с использованием спутниковых навигационных систем на урожайность яровой пшеницы и пищевой режим чернозёма выщелоченного в условиях Северного Зауралья.

Задачи исследования:

1. Разработать новую систему дифференцированного внесения минеральных удобрений с использованием спутниковых навигационных систем;
2. Изучить состояние азотного режима чернозёма выщелоченного при дифференцированном внесении аммиачной селитры;
3. Установить планируемую урожайность яровой пшеницы, при которой целесообразно дифференцированное внесение азотных удобрений в режиме off-line;
4. Определить пространственную вариабельность содержания нитратного азота в слое 0-40 см чернозема выщелоченного для использования дифференцированного внесения азотных удобрений по элементарным участкам поля;
5. Дать экономическую и биоэнергетическую оценку дифференцированного внесения аммиачной селитры в режиме off-line.

Научная новизна. Разработана методика создания электронных карт полей для дифференцированного внесения минеральных удобрений в режиме off-line. Определён порядок использования системы ГЛОНАСС, GPS для дифференцированного внесения минеральных удобрений. Оптимизирован

азотный режим в агроценозах с использованием спутниковых навигационных систем при внесении азотных удобрений одновременно с посевом яровой пшеницы. Дифференцированное внесение азотных удобрений позволило равномерно распределить удобрения по элементарным участкам поля с учетом содержания нитратного азота в почве и планируемого урожая.

Расход азотных удобрений на планируемую урожайность яровой пшеницы 3,0 т/га сократился в целом на 8-84 кг/га по сравнению с традиционным способом их внесения, при этом себестоимость производства яровой пшеницы снизилась на 469 руб./га.

Практическая значимость результатов исследований. Внедрение системы дифференцированного внесения аммиачной селитры по элементарным участкам даст возможность получить прибыль 8346 руб./га при рентабельности 55 % возделывания яровой пшеницы. Оптимизация минерального питания с учетом гетерогенности полей по плодородию обеспечивает однородность составляющих структуры урожая, одновременность наступления фаз развития яровой пшеницы и созревания урожая. Внесение азотных удобрений при посеве в режиме off-line с использованием навигационной системы приводит к их экономии относительно традиционного способа.

Основные положения, выносимые на защиту. Дифференцированное внесение аммиачной селитры при посеве по элементарным участкам поля в режиме off-line оптимизирует минеральное питание яровой пшеницы на полях с высокой вариабельностью запасов нитратного азота и обеспечивает экономию удобрений на 5,1-56,3 %.

Личный вклад автора. Диссертационная работа выполнена автором лично. Соискатель провел анализ и обобщение литературных источников. Проведение научно-производственного опыта, отбор почвенных и растительных образцов, их пробоподготовке и лабораторном анализе. Соискателем лично выполнены необходимые расчеты и статистическая обработка экспериментальных данных.

Апробация работы: Результаты исследований докладывались на заседаниях кафедры почвоведения и агрохимии ГАУ Северного Зауралья в 2012, 2013, 2014 гг.; на конференциях: «Научно – техническое творчество молодежи – путь к обществу, основанному на знаниях», (Москва, 2012); победитель программы «УМНИК» (Тюмень, 2012); «SASCHA», организованной Университетом прикладных наук, (Германия, г. Оснабрюг, 2012); «Инновационное развитие АПК Северного Зауралья» (Тюмень, 2013); «Геоинформационные технологии в сельском хозяйстве» (Оренбург, 2013); «Перспективы развития АПК в работах молодых ученых» (Тюмень, 2014); «Всероссийский конкурс на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых учёных высших учебных заведений Министерства сельского хозяйства РФ в номинации «Сельскохозяйственные науки»», (Тюмень, Самара, 2014); «Студенты вузов – школе и производству», (Ишим, 2014); «Всероссийский день агрохимического поля» Демонстрация технологических процессов в агрохимии с использованием космических систем (Тюмень, 2015).

По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ, в том числе 2 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов исследований соискателями ученых степеней.

Структура и объём работы. Диссертационная работа изложена на 203 страницах и содержит: введение, 6 глав печатного текста с 27 рисунками и 18 таблицами, заключение, предложения производству, список использованной литературы из 251 наименований, включая 13 зарубежных авторов, и 34 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧАЕМОГО ВОПРОСА

В главе сделан анализ ранее проведённых исследований, свидетельствующий об актуальности оптимизации минерального питания сельскохозяйственных культур по элементарным участкам поля.

2. ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

Почва опытно-производственного поля чернозём выщелоченный. Содержание гумуса в пахотном слое (0-30 см) варьирует от 7,65 до 9,05 %. Валовое содержание азота в пахотном слое составляет 0,43-0,44 %, в слое 30-50 см – 0,18-0,21 %, что указывает на резкую дифференциацию профиля по данному показателю. Запасы валового азота в слое 0-50 см составляют 19-20 т/га. Высокая сумма обменных оснований в пахотном слое 31,4-34,0 и гидrolитическая кислотность 3,5-3,8 мг-экв/100 г почвы. Плотность сложения пахотного слоя чернозема выщелоченного 1,07-1,25 г/см³. Объём порового пространства соответствующий полной влагоемкости в метровом слое варьирует в пределах 42-57 %. Диапазон активной влаги (НВ-ВРК) в слое 0-30 см составляет всего 35-40 мм.

Климат в северной лесостепи континентальный, характеризуется холодной, продолжительной зимой и коротким, умеренно жарким летом. Среднегодовое количество осадков составляет 450 мм, из них около 233 мм выпадает за вегетационный период. Сумма эффективных температур выше 5 °С колеблется в пределах 1900-2050 °С, а сумма активных температур выше 10 °С – 1860-1940 °С.

Период исследования, характеризовался разнообразными погодными условиями, типичными для Западной Сибири. Менее благоприятный год 2012, так как была атмосферная засуха и недостаточное количество выпавших осадков – всего 106 мм. Наиболее благоприятными годами для выращивания зерновых культур были 2013 и 2014 гг. с мая по август влагообеспеченность была благоприятна – 246-262 мм, сумма эффективных температур удовлетворяла потребности яровой пшеницы в тепле.

Научно-производственный опыт проводился на двух полях с одним типом почв. Это обусловлено тем, что исследования проводились в севообороте, который развернут во времени и пространстве на полях учебно-опытного хозяйства ГАУ Северного Зауралья. В основу выбора полей взят различный уровень плодородия чернозёма выщелоченного по элементарным участкам, изучены картограммы по содержанию питательных веществ. Опыт проводился в

типичном для северной лесостепи звене севооборота: кукуруза – пшеница – пшеница.

Рельеф первого опытного поля характеризуется с небольшим уклоном общая площадь 36,1 га, площадь опыта составляла 30,1 га, площадь элементарных участков варьировала от 1,3 до 2,1 га. Второе поле общей площадью 44,1 га с площадью опыта 43,5 га площадь элементарных участков была от 0,9 до 3,5 га, поле также имело уклон юго-западного направления. Поле № 1 было разбито на 20 элементарных участков, поле № 2 на 21, однако в первом поле элементарные участки под № 19 и 20 – не были включены в варианты (табл. 1).

Таблица 1 – Присвоенные номера элементарных участков к варианту

Поле № 1	Поле № 2
Вариант №1: 18, 14, 9;	Вариант №1: 17, 12, 7, 3;
Вариант №2: 17, 13, 8, 4;	Вариант №2: 21, 19, 14, 9;
Вариант №3: 16, 12, 7, 3;	Вариант №3: 18, 13, 8, 4;
Вариант №4: 15, 11, 6, 2;	Вариант №4: 1, 5, 10, 15, 20;
Вариант №5: 10, 5, 1.	Вариант №5: 2, 6, 11, 16.

Оценка эффективности дифференцированного внесения минеральных удобрений с применением навигационной системы проводилась на 5-ти вариантах, которые разделены были на элементарные участки (рис.1).



Рис. 1 – Опытно-производственные поля, разделённые на элементарные участки

В каждом варианте элементарные участки размещались последовательно, так как опыт был заложен в производстве с применением широкозахватного посевного комплекса John Deere 730. При этом все наблюдения в каждом элементарном участке проводили в 3-х кратной повторности.

Вариант № 1 – Контроль (без внесения минеральных удобрений);

Вариант № 2 – внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность яровой пшеницы 3,0 т/га с учетом среднего значения содержания азота на поле «хозяйственная доза» (традиционный способ внесения аммиачной селитры 150 кг/га). Фактически по нашим расчетам с учетом содержания N-NO₃ на данном варианте это соответствовало планируемой урожайности яровой пшеницы 3,2-3,7 т/га;

Вариант № 3 – дифференцированное внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность яровой пшеницы 3,0 т/га с учетом содержания элементов питания по элементарным участкам;

Вариант № 4 – дифференцированное внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность яровой пшеницы 4,0 т/га с учетом содержания элементов питания по элементарным участкам;

Вариант №5 – дифференцированное внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность яровой пшеницы 4,0 т/га с учетом содержания элементов питания по элементарным участкам плюс подкормка в фазу кущения яровой пшеницы.

Аналитические работы выполнялись в лабораториях агробиотехнологического центра ГАУ Северного Зауралья согласно ГОСТов и общепринятых методик. Влажность почвы определяли термостатно-весовым методом (ГОСТ 28268-89), содержания нитратного азота в почве определяли по Грандваль-Ляжу, подвижного фосфора и калия – по Ф. В. Чирикову перед посевом, в фазу кущения и перед уборкой в слое 0-40 см, рН по методике ЦИНАО (ГОСТ 26483-85), натуральный вес (ГОСТ 1084-64), стекловидность (ГОСТ 10987-76), сырая клейковина и ее качество (ГОСТ 13586,1-68), экономическую и биоэнергетическую эффективность дифференцированного внесения удобрений в почву рассчитывалась по методике В.Г. Минеев (2006), математическую обработку полученных данных проводили по Б.А. Доспехову (1965), а также с помощью компьютерных программ Excel и Snedecor.

Агротехника в опыте. Основная обработка почвы проводилась осенью после уборки предшествующей культуры плугом ПН-8-35 + К-744 на глубину 20-25 см. Весной при наступлении физической спелости почвы проводилось ранневесеннее боронование в два следа агрегатом Т-150+СП-11+22БЗСС-1,0. Высеивалась яровая пшеница в оптимальный для лесостепной зоны в период 15-20 мая на глубину 5-6 см, посевным комплексом John Deere 730 в агрегате с трактором New Holland с нормой высева 6,2 млн. всхожих семян яровой пшеницы сорта Новосибирская 31. Уборку проводили прямым комбайнированием в фазу полной спелости с измельчением соломы.

3. МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОСЕВНЫМ КОМПЛЕКСОМ JOHNDEERE 730

По заказу Министерства сельского хозяйства Российской Федерации в 2012 г. Государственным аграрным университетом Северного Зауралья (г. Тюмень) разработана научно-методическая база по осуществлению мониторинга плодородия земель сельскохозяйственного назначения.

В программе MapInfo или Google Earth (Планета Земля) оцифрованные поля хозяйства разбивали на элементарные участки с присвоением порядкового номера. Далее экспортировали в формате KML созданный файл в БНК «Агронавигатор». При агрохимическом обследовании полей отображалась траектория движения, и фиксировались точки отбора почвенных проб с привязкой к географическим координатам. Отбор образцов проводили автоматическим пробоотборником конструкции ГАУ Северного Зауралья, с автомобилем высокой

проходимости позволяющий отбирать образец в слое почвы 0-40 см. На основании агрохимического анализа почв на основании картосхемы и расчетов доз удобрений создается карта задания для дифференцированного внесения минеральных удобрений по элементарным участкам поля. Предложено техническое решение внесения азотных удобрений в режиме off-line с использованием агронавигатора, блока управления и линейного электроактуатора.

4. ВЛИЯНИЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПО ЭЛЕМЕНТАРНЫМ УЧАСТКАМ НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ, БИОЛОГИЧЕСКИЕ, ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОДОРОДИЯ И ВОДНЫЙ РЕЖИМ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО

4.1.1 Нитратный режим питания яровой пшеницы

Дифференцированное внесение азотных удобрений по элементарным участкам с использованием спутниковых навигационных систем в режиме off-line на планируемую урожайность приводило к оптимизации минерального питания культурных растений. В фазу кущения на поле № 1 в слое 0-40 см N-NO₃ содержалось 14,5-18,5 мг/кг почвы, на 2-м поле – 8,4-15,6 мг/кг почвы (табл. 2).

Таблица 2 – Динамика N-NO₃ (мг/кг почвы) в период вегетации по элементарным участкам поля № 2 при различном способе внесения минеральных удобрений, 2013-2014 гг.

Способ внесения минеральных удобрений	№ элементарного участка	Перед посевом	Фаза кущения выход в трубку	После уборки
Контроль (без удобрений)	3	7,2	6,4	9,0
	7	6,5	7,1	10,3
	12	8,5	7,7	11,3
	17	8,8	10,3	15,2
	Среднее	7,5	7,9	11,5
Традиционный – 150 кг/га аммиачной селитры	9	8,4	12,5	11,9
	14	11,5	14,9	17,7
	19	13,4	27,2	25,7
	21	21,3	40,9	39,6
	Среднее	13,6	23,9	23,7
Дифференцированный на планируемую урожайность 3,0 т/га	4	8,0	8,4	11,3
	8	9,5	9,0	14,4
	13	8,4	12,1	13,0
	18	13,8	15,6	20,4
	Среднее	9,9	11,2	14,8
Дифференцированный на планируемую урожайность 4,0 т/га	1	4,1	26,7	11,3
	5	11,4	18,5	15,0
	10	8,5	11,3	13,0
	15	9,8	14,1	10,7
	20	11,9	17,8	18,2
	Среднее	9,1	17,7	13,6
Дифференцированный на планируемую урожайность 4,0 т/га + "подкормка"	2	6,5	17,7	15,6
	6	8,1	15,1	9,7
	11	6,9	16,2	9,8
	16	8,3	12,6	12,3
	Среднее	7,4	15,4	11,8
НСР ₀₅	-	0,35	1,31	0,96

Дифференцированное внесение азотных удобрений в режиме off-line приводит к выравниванию содержания $N-NO_3$ в слое 0-40 см чернозёма выщелоченного. Содержание нитратного азота на поле 2 с планируемой урожайностью яровой пшеницы 3,0 т/га составляло от 8,4 до 15,6, на вариантах с планируемой урожайностью 4,0 т/га с подкормкой – 12,6-17,7 мг/кг почвы, что соответствовало средней и высокой обеспеченности растений яровой пшеницы.

Внесение минеральных удобрений традиционным способом увеличивало контрастность содержания $N-NO_3$ по элементарным участкам в фазу кушения яровой пшеницы от 12,5 до 40,9 мг/кг почвы.

Внесение аммиачной селитры 150 кг/га при посеве яровой пшеницы увеличивало вариабельность содержания нитратного азота по элементарным участкам к фазе кушения; в 2013 году на 17,5 %, в 2014 году – на 9,9 %. При дифференцированном внесении аммиачной селитры с использованием спутниковых навигационных систем в 2013 году вариабельность сохранялась от посева до кушения яровой пшеницы на одном уровне, а в 2014 году увеличилась только на 5,7 % (рис. 2, 3).

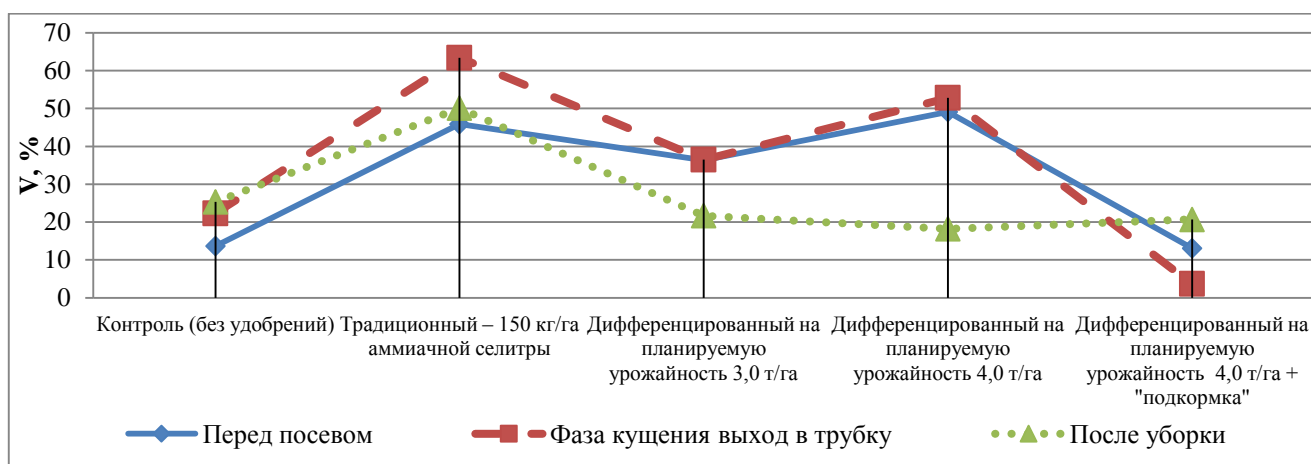


Рис. 2 – Коэффициент вариации содержания $N-NO_3$ по элементарным участкам поля № 2, 2013 г.

Повторное использование дифференцированного внесения аммиачной селитры с использованием спутниковых навигационных систем выравнивает почвенный покров поля по содержанию $N-NO_3$ в слое 0-40 см.

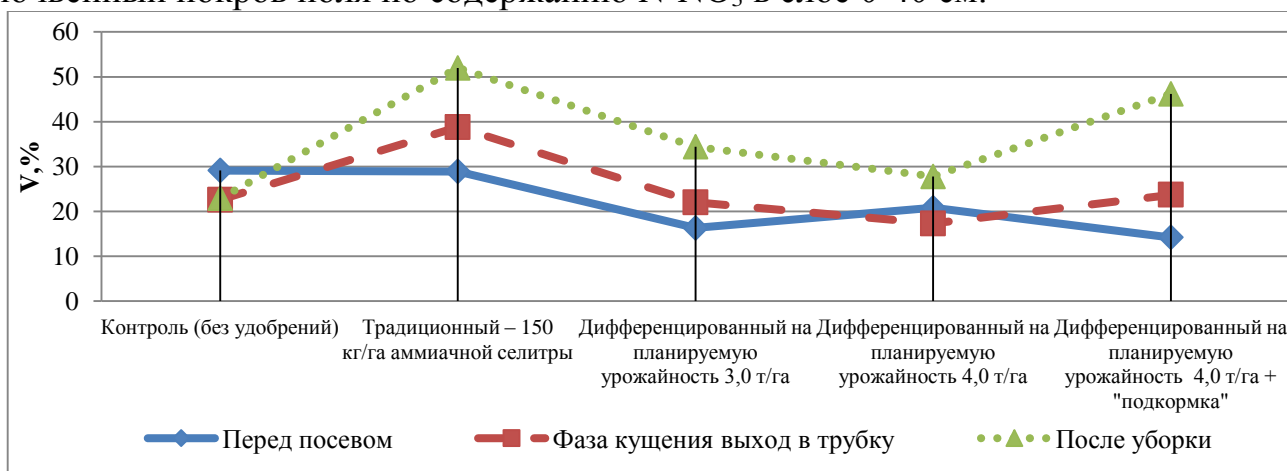


Рис. 3 – Коэффициент вариации содержания $N-NO_3$ по элементарным участкам поля № 2, 2014 г.

В большей степени данная закономерность проявилась при дифференцированном внесении аммиачной селитры по элементарным участкам на планируемую урожайность яровой пшеницы 4,0 т/га. При максимальной вариабельности содержания N-NO₃ в почве перед посевом яровой пшеницы 49,1 % в 2013 году вариабельность в аналогичный период 2014 году снизилась до 20,8 %, т. е. пестрота уменьшилась на 28,6 %.

При норме аммиачной селитры 150 кг/га по элементарным участкам вариабельность содержания N-NO₃ перед посевом в 2014 году снизилась на 17,0 % относительно 2013 года.

Несмотря на меньшую вариабельность содержания нитратного азота перед посевом яровой пшеницы в 2013 году дифференцированное внесение аммиачной селитры с применением навигационной системы позволило в 2014 году снизить вариабельность на 20,0 %.

4.1.2 Тканевая диагностика и расчет подкормки

Результаты тканевой диагностики яровой пшеницы в фазу кущения показали, что при низкой обеспеченности растений азотом 5,9-8,2 мг/кг чернозёма выщелоченного, пространственной вариабельности содержания азота до посева 4,4-11,0 %, дифференцированное внесение аммиачной селитры с использованием спутниковой навигационной системы слабо влияет на оптимизацию минерального питания культурных растений (рис. 4). Содержание N-NO₃ в листьях яровой пшеницы имело широкий диапазон 21,6-38,8 мг/%, при пространственной вариабельности 23,0 %.

Вместе с этим повторное использование дифференцированного внесения минеральных удобрений в режиме off-line выравнивает содержание нитратного азота в листьях яровой пшеницы по элементарным участкам поля и снижает пространственную вариабельность данного признака до 13,2 %.

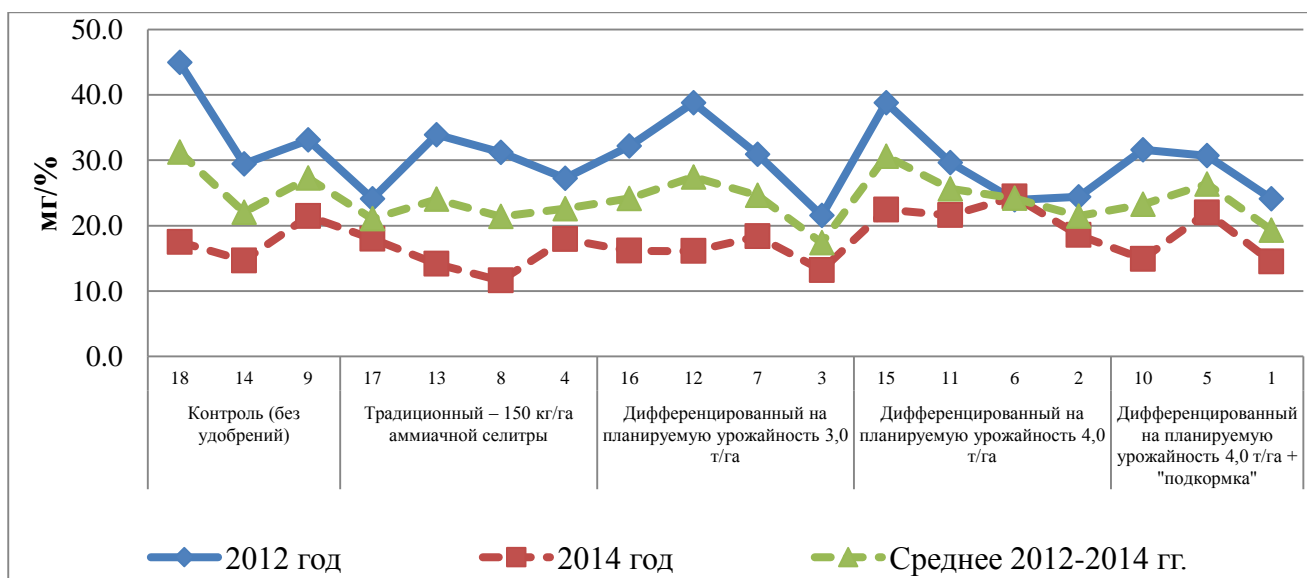


Рис.4 – Содержание нитратного азота в листьях яровой пшеницы в фазу кущения поля № 1, мг/%

Эффективность дифференцированного внесения азотных удобрений по элементарным участкам поля № 2 повышалась при колебаниях N-NO₃ в почве от слабой до высокой обеспеченности культурных растений и пространственной

вариабельности от 16,3 до 36,3 %. Содержание в листьях N-NO₃ на варианте дифференцированного внесения удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га яровой пшеницы колебалось в пределах 20,6-23,6 мг/% с пространственной вариабельностью – 7,1 % (рис.5).

Повышение нормы внесения аммиачной селитры на планируемую урожайность 4,0 т/га увеличивало колебание содержания нитратного азота в листьях яровой пшеницы от 22,8 до 29,6 мг/% при пространственной вариабельности признака 12,4-13,4 %.

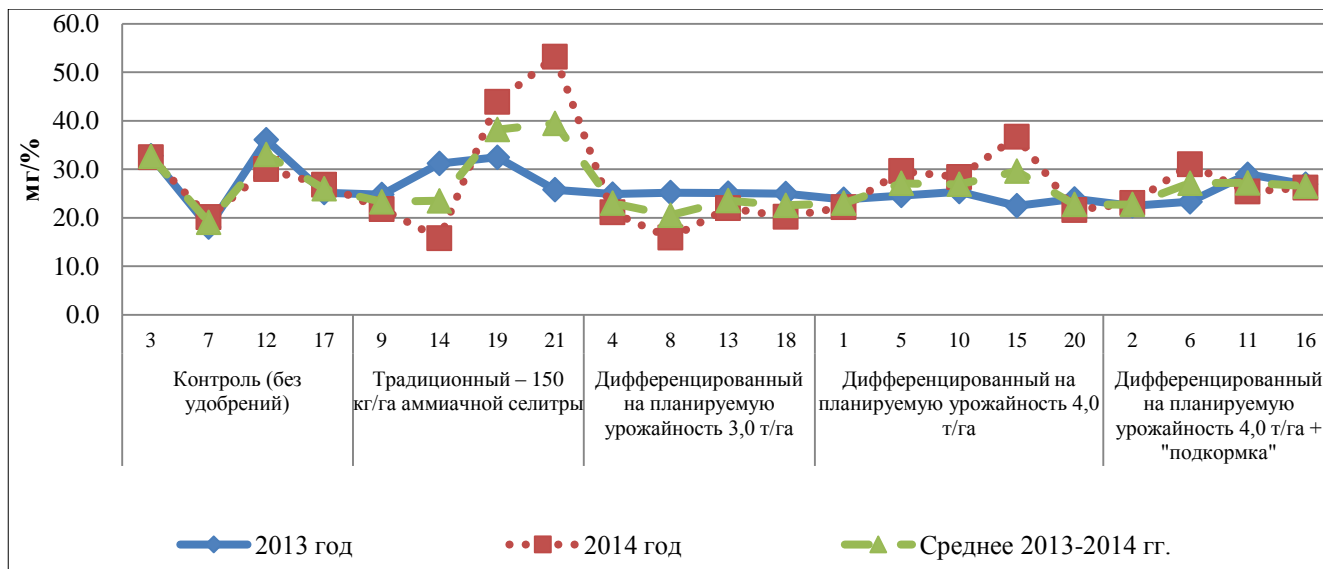


Рис. 5– Содержание нитратного азота в листьях яровой пшеницы в фазу кущения поле № 2, мг/%

Традиционное внесение минеральных удобрений с усредненной нормой на всё поле увеличивало контрастность содержания N-NO₃ в листьях яровой пшеницы по элементарным участкам в 2013 году до 7,7, в 2014 году – до 37,4 мг/% при пространственной вариабельности 13,4 и 52,7 %.

На основании оптимальных параметров тканевой диагностики для яровой пшеницы (Ермохин Ю.И., 2014), ежегодно создавалась карта задания для дифференцированной подкормки в режиме off-line по элементарным участкам поля, и экспортировалось в БНК «Агронавигатор». На поле № 1 на элементарных участках с № 10, 5 и 1 в 2012 году доза по элементарным участкам поля составляла 33,0; 35,0 и 52,0 кг/га аммиачной селитры, а в 2014 году 82,0; 59,0 и 84,0 соответственно. На поле № 2 на элементарных участках под № 2 и 16 на протяжении двух лет дозы сохранились на одном уровне, на участке № 6 снизилось на 36,2 %, а на № 11 – увеличилось на 18,4 %.

4.1.3 Фосфорное и калийное питание яровой пшеницы

Неоднородность полей выявлена не только по содержанию азота, но и по подвижному фосфору. Пространственная вариабельность содержания P₂O₅ на первом поле перед посевом яровой пшеницы составляла 15,3-38,0 %, на втором поле – 23,0-52,0 %. Дифференцированное внесение азотных удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га яровой пшеницы способствует к выравниванию по содержанию подвижного фосфора элементарным участкам в период от посева до кущения. Вариабельность содержания P₂O₅ в слое 0-40 см

снижалось на первом поле с 33,2 до 23,8 %, а на втором поле была в пределах 52,0-54,5 %, в результате внесения высоких доз органических удобрений (неравномерного) шло постоянное высвобождение P_2O_5 .

Содержание подвижного фосфора перед посевом яровой пшеницы по вариантам первого поля составляло 39,4-135,7 мг/кг почвы, второго поля – 51,5-316,1 мг/кг почвы. Это соответствовало градации от низкой до очень высокой обеспеченности чернозёма выщелоченного. Подвижный фосфор в опытах не являлся лимитирующим фактором получения планируемой урожайности яровой пшеницы.

Четкой закономерности влияния дифференцированного внесения азотных удобрений по элементарным участкам на выравненность почвенного плодородия по обменному калию не выявлено. Пространственная вариабельность содержания K_2O в фазу кущения яровой пшеницы на первом поле достигала 6,1-17,4 %, а на втором поле – 21,0-25,8 %. Однако данный уровень пространственной вариабельности K_2O в слое 0-40 см дает основание считать перспективным дифференцированное внесение калийных удобрений с использованием спутниковых навигационных систем для повышения продуктивности агроценозов.

4.1.4 Обменная кислотность.

Обменная кислотность чернозема выщелоченного на элементарных участках варьировала в широком диапазоне 4,3-6,4 ед., при коэффициенте вариации 13,4 %, что соответствовало средней вариабельности признака. Данное явление объясняем процессами солодообразования на начальных стадиях.

4.2 Водный режим почвы и водопотребление яровой пшеницы

Погодные условия вегетационного периода 2012 года были неблагоприятными для формирования продуктивности агроценозов. Запасы продуктивной влаги в фазу кущения яровой пшеницы составили в слое 0-30 см 22-29 мм, а в метровом слое – 122-154 мм. Вторая половина вегетации также характеризовалась дефицитом атмосферных осадков и повышенной температурой, относительно среднемноголетних значений. К уборке почва находилась в недостаточно увлажненном состоянии при запасах продуктивной влаги в метровом слое 61-75 мм. Данный уровень увлажнения почвы и атмосферная засуха не позволили получить планируемую урожайность яровой пшеницы в 2012 году.

Влагообеспеченность чернозёма выщелоченного в 2013 и 2014 году формировалась как благоприятная. Почва по элементарным участкам изучаемых вариантов внесения минеральных удобрений была во влажном и умеренно-влажном состоянии, что было достаточно для формирования урожайности яровой пшеницы 3,0 и 4,0 т/га.

Нами была выявлена значительная вариабельность содержания продуктивной влаги по элементарным участкам. Разница её содержания в слое 30-100 см достигала в 2 и 3 раза. Установлена прямая связь между содержанием влаги в фазу кущения яровой пшеницы и её урожайностью при слабой влагообеспеченности ($r=1$) и обратная при избыточном увлажнении ($r=-1$).

Данный факт свидетельствует, что при дифференцированном внесении минеральных удобрений по элементарным участкам с использованием

спутниковых навигационных систем следует учитывать и степень увлажнения почвы.

4.3 Микробиологическая активность почвы

Показателем, характеризующим общую активность почвенной биоты, является интенсивность разложения клетчатки целлюлозаразлагающими микроорганизмами. Определяющими условиями микробиологической активности в наших опытах были степень увлажнения почвы и равномерность содержания азота по элементарным участкам, что связано со способами его внесения.

Дифференцированное внесение азотных удобрений по элементарным участкам с использованием спутниковой навигационной системы обеспечивало более интенсивное разложение льняного полотна на 7,0 % с экспозицией 90 дней по сравнению с усредненной нормой внесения аммиачной селитры на все поле.

5. УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОМ ВНЕСЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ПОЧВУ ПРИ ПОСЕВЕ В РЕЖИМЕ OFF-LINE

5.1 Урожайность яровой пшеницы и её структура

В условиях острого дефицита почвенной влаги дифференцированное внесение азотных удобрений при посеве в режиме off-line с использованием навигационной системы увеличивало урожайность яровой пшеницы на 0,19 т/га (НСР₀₅ 0,17) по сравнению с традиционным способом внесения минеральных удобрений. В подобных условиях, когда ГТК в фазу кущения яровой пшеницы составлял 0,67, была установлена эффективность дифференцированного внесения, наблюдалась даже при слабой пространственной вариабельности содержания N-NO₃ в слое 0-40 см – 9,9-11,0 %.

Использование аммиачной селитры с учетом содержания элементов питания по элементарным участкам в среднем за 3 года способствовало получению планируемая урожайность яровой пшеницы 3,18 т/га.

Чтобы установить диапазон урожайности яровой пшеницы в котором наиболее рационально работает дифференцированное внесение азотных удобрений с использованием навигационных систем мы разбили каждый вариант внесения минеральных удобрений на кластеры с интервалом 0,50-1,00 т/га (табл.3).

Таблица 3 – Урожайность яровой пшеницы при различных способах и нормах внесения аммиачной селитры, т/га

Способ внесения минеральных удобрений	Кластеры урожайности яровой пшеницы				
	1,00-2,00	2,01-3,00	3,01-4,00	4,01-4,50	4,51-5,00
Традиционный – 150 кг/га аммиачной селитры	1,60	2,16	3,52	4,26	4,73
Дифференцированный на планируемую урожайность 3,0 т/га	1,79	2,07	3,54	4,37	4,65
Дифференцированный на планируемую урожайность 4,0 т/га	1,56	//	3,65	4,24	4,64
Дифференцированный на планируемую урожайность 4,0 т/га + "подкормка"	1,50	//	3,55	4,34	4,63

Для формирования кластеров урожайности яровой пшеницы провели группировку значений урожайности с поля № 1 и 2 в период исследования с 2012-2014 гг. в каждом варианте и кластере по элементарным участкам поля в 3-х кратной повторности. В целом использовали 234 значения урожайности яровой пшеницы, а по каждому варианту – по 36-48.

Дифференцированное внесение азотных удобрений по элементарным участкам позволило получить равнозначную урожайность яровой пшеницы 3,54 т/га (в кластере 3,01-4,00) с традиционным способом внесения и выше на 0,11 т/га в кластере 4,01-4,50 т/га при снижении расхода туков 5,1-56,3 %.

Установлен диапазон пространственной вариабельности содержания нитратного азота в почве 13-46 % в котором дифференцированное внесение азотных удобрений имело преимущество по влиянию на продуктивность яровой пшеницы. Ограничивающим фактором первого порядка для получения урожайности яровой пшеницы 4,0 т/га является влагообеспеченность культурных растений.

5.2 Качество зерна яровой пшеницы

Дифференцированное внесение азотных удобрений по элементарным участкам на планируемую урожайность яровой пшеницы 3,0 т/га увеличивало массу зерна на 11,4 г/л относительно данного показателя на варианте с усредненной нормой аммиачной селитры на все поле.

На всех изучаемых вариантах стекловидность зерна яровой пшеницы была выше 60 %, что соответствует высшему качеству зерна яровой пшеницы этого показателя по ГОСТу. Максимальная стекловидность в среднем за 2012-2014 гг. была на варианте с дифференцированным внесением аммиачной селитры на планируемую урожайность 4,0 т/га – 79,5 % и превышала контроль на 1,8 %. Вариабельность данного показателя в годы исследований по полям и вариантам не превышала 13 %, выравненность признака – средняя, а зерно соответствовало первому классу качества. Внесение аммиачной селитры, как традиционным способом, так и дифференцированным обеспечивало получение зерна первого и второго класса качества. Массовая доля сырой клейковины была в пределах 29,7-32,5 %, что выше контроля на 7,4-10,2 %.

Качество клейковины на всех вариантах опыта соответствовало первой группе – 66,4-71,9 ед. ИДК. Внесение подкормки в фазу кущения яровой пшеницы не повышало качественные характеристики зерна.

Дифференцированное внесение азотных удобрений по элементарным участкам, согласно картограмм содержания нитратного азота и планируемой урожайности позволяет снижать вариабельность показателей качества зерна яровой пшеницы и повышать его технологические свойства.

В среднем за годы исследований внесение подкормки при высоком уровне минерального питания яровой пшеницы снижает количество клейковины на 2,2 % и ее качество на 4,0 ед. ИДК.

Для получения зерна высокого качества в системе удобрений рекомендуется дифференцированный способ внесения азотных удобрений с использованием космических систем.

6. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

6.1 Экономическая эффективность дифференцированного внесения аммиачной селитры в почву при посеве

В кластере 3,01-3,50 и 3,51-4,00 т/га полученной урожайности наибольшая прибыль 8684,2 и 12150,4 руб./га от реализации полученного урожая и наибольший уровень рентабельности производства яровой пшеницы 54,1-75,0 % были с дифференцированным внесением аммиачной селитры при посеве в режиме off-line на планируемую урожайность яровой пшеницы 3,0 т/га (табл. 4).

Экономически оправдано использование дифференцированного внесения азотных удобрений по элементарным участкам в режиме off-line при пространственной вариабельности содержания N-NO₃ более 25,0 %, с его низкой и средней степенью обеспеченности 6,7 и 12,4 мг/кг почвы в допосевной период.

Экономически нецелесообразно использование удобрений как традиционным, так и дифференцированным способом в жестких погодных условиях. При гидротермическом коэффициенте в июне 0,67 окупаемость затрат на выращивание яровой пшеницы с внесением азотных удобрений на планируемую урожайность 3,0-4,0 т/га составляла 0,61-0,86 руб.

Таблица 4 – Экономическая эффективность возделывания яровой пшеницы в зависимости от способа внесения аммиачной селитры

Способ внесения минеральных удобрений	Кластеры урожайность яровой пшеницы, т/га					
	1,00-2,00	2,01-3,00	3,01-3,50	3,51-4,00	4,01-4,50	4,51-5,00
Традиционный – 150 кг/га аммиачной селитры	(0,75) (3997)	0,3 47	47,7 7846	66,9 11095	90,9 15212	110,3 18605
Дифференцированный на планируемую урожайность 3,0 т/га	(0,86) (2220)	(0,98) (198)	54,1 8684	75,0 12150	100,3 16411	112,1 18433
Дифференцированный на планируемую урожайность 4,0 т/га	(0,66) (6032)	-	41,7 7617	54,1 9928	72,1 13322	87,2 16210
Дифференцированный на планируемую урожайность 4,0 т/га + "подкормка"	(0,61) (7282)	-	32,3 6150	46,4 8894	68,5 13227	79,0 15321

Рентабельность(окупаемость), %

Прибыль(убыток), руб

Целесообразно применять дифференцированное внесение азотных удобрений по элементарным участкам при посеве в режиме off-line на планируемую урожайность яровой пшеницы 3,00-4,50 т/га.

6.2 Биоэнергетическая эффективность дифференцированного внесения минеральных удобрений одновременно при посеве

Увеличения урожайности сельскохозяйственных культур тесно связано с интенсификацией производства, которая сопровождается увеличением затрат невозобновляемой энергии, в том числе и за счет возрастающего применения удобрений. Поэтому важно разрабатывать и использовать энергосберегающие

технологии производства, при которых меньше расходуется энергии на производство растениеводческой продукции (Ермохин Ю.И., 1994; Бобренко И.А., 2004; Ермохин Ю.И., 2005).

Энергетическая оценка показала, что изучаемые способы внесения минеральных удобрений с применением спутниковых навигационных систем при посеве яровой пшеницы были эффективны на всех вариантах опыта (табл. 5).

Таблица 5 – Биоэнергетическая эффективность внесения азотных удобрений одновременно при посеве, 2012-2014 гг.

Способ внесения минеральных удобрений	Средняя доза по варианту, кг/га д.в.	Количество энергии, накопленной в основной продукции, Vf_0 МДж/га	Энергетические затраты на применение минеральных удобрений, A_0 МДж/га	Биоэнергетический КПД
Традиционный – 150 кг/га аммиачной селитры	51,4	16527	4462	3,7
Дифференцированный на планируемую урожайность 3,0 т/га	39,6	12707	3435	3,6
Дифференцированный на планируемую урожайность 4,0 т/га	102,2	16693	8867	1,9
Дифференцированный на планируемую урожайность 4,0 т/га + "подкормка"	120,5	12914	10455	1,2

Наибольший коэффициент энергетической эффективности 3,6, с минимальными энергетическими затратами на применение минеральных удобрений 3452 МДж/га был на варианте с дифференцированным способом их внесения по элементарным участкам на планируемую урожайность 3,0 т/га.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана методика создания карты-задания с географической привязкой норм внесения удобрений по элементарным участкам поля. Предложена технология дифференцированного внесения минеральных удобрений в режиме off-line при посеве зерновых культур с использованием спутниковых навигационных систем.

2. Дифференцированное внесение азотных удобрений в режиме off-line выравнивает содержание $N-NO_3$ по элементарным участкам чернозёма выщелоченного. Эффективность дифференцированного внесения азотных удобрений по элементарным участкам поля возрастало на полях при варьировании содержания $N-NO_3$ в почве от слабой до высокой обеспеченности культурных растений и пространственной неоднородности от 16,3 до 36,3 %.

3. Внесение аммиачной селитры традиционным способом в дозе 150 кг/га увеличивало контрастность содержания $N-NO_3$ по элементарным участкам в фазу кущения яровой пшеницы от 12,5 до 40,9 мг/кг почвы и вариабельность его по

элементарным участкам от посева к фазе кущения на 17,7 и 9,9 %. Увеличивалась контрастность содержания N-NO₃ в листьях яровой пшеницы в 2013 году до 7,7, в 2014 году – до 37,4 мг/% при пространственной вариабельности от 13,4 до 52,7 %.

4. Содержание в листьях яровой пшеницы N-NO₃ при дифференцированном внесении удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га составляло 20,6-23,6 мг/% с пространственной вариабельностью – 7,1 %. Повышение нормы внесения аммиачной селитры на планируемую урожайность 4,0 т/га увеличивало колебание содержания нитратного азота в листьях яровой пшеницы от 22,8 до 29,6 мг/% и повышало пространственную вариабельности признака 12,4-13,4 %.

5. Содержание подвижного фосфора в слое 0-40 см варьировало в опытах от 39,4 до 316 мг/кг почвы с пространственной вариабельностью 15,3-52,0 %, а калия при очень высокой обеспеченности с вариабельностью 6,1-25,8 %. Данный уровень пространственной вариабельности K₂O и P₂O₅ в слое почвы 0-40 см дает основание считать перспективным дифференцированного внесения калийных и фосфорных удобрений с использованием космических систем для повышения продуктивности агроценозов.

6. Дифференцированное внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность до 4,0 т/га не оказывало влияния на обменную кислотность, которая варьировала по элементарным участкам поля от 0,4 до 13,4 %.

7. Погодные условия 2012 г. были неблагоприятными для роста и развития яровой пшеницы. Запасы продуктивной влаги в фазу кущения яровой пшеницы в слое 0-100 см составили 122-154 мм при ГТК – 0,49. В 2013 и 2014 гг. почва на опытном поле была во влажном и умеренно влажном состоянии, что было достаточно для получения урожайности яровой пшеницы 3,0 и 4,0 т/га. Элементарные участки имели значительные расхождения содержанию продуктивной влаги в слоях 0-30, 0-100 см разница её достигала 2 и 3 раза.

8. Дифференцированное внесение азотных удобрений по элементарным участкам с использованием спутниковой навигационной системы усиливало микробиологическую активность пахотного слоя чернозема выщелоченного на 7,0 % больше по сравнению с усредненной нормой внесения аммиачной селитры на все поле.

9. Дифференцированное внесение азотных удобрений при посеве в режиме off-line с использованием навигационной системы увеличивало урожайность яровой пшеницы на 0,19 т/га в засушливых условиях увлажнения по сравнению с традиционным способом внесения минеральных удобрений. В острозасушливые годы (ГТК <0,49) эффективность дифференцированного внесения возрастает даже при слабой пространственной вариабельности содержания N-NO₃ в слое 0-40 см – 9,9-11,0 %.

10. Дифференцированное внесение азотных удобрений по элементарным участкам позволило получить равнозначную урожайность яровой пшеницы 3,54 т/га (в кластере 3,01-4,00) с традиционным способом внесения и выше на 0,11 т/га в кластере 4,01-4,50 т/га при снижении расхода туков на 5,1-56,3 %.

11. Дифференцированное внесение азотных удобрений имеет преимущество на полях с коэффициентом пространственной вариабельности содержания нитратного азота от 13 до 46 % по влиянию на продуктивность яровой пшеницы.

12. Экономически оправдано использование дифференцированного внесения азотных удобрений по элементарным участкам в режиме off-line на планируемую урожайность яровой пшеницы 3,00-4,50 т/га с пространственной вариабельностью содержания N-NO₃ в слое почвы 0-40 см более 25,0 %, его низкой и средней степенью обеспеченности (6,7 и 12,4 мг/кг почвы) в допосевной период, что позволяет получить наибольшую прибыль 8684-12150 руб./га и наибольший уровень рентабельности производства яровой пшеницы 54,1-75,0 %.

13. Энергетическая оценка изучаемых способов внесения минеральных удобрений с применением спутниковых навигационных систем при посеве яровой пшеницы была эффективна на всех вариантах опыта. Наибольший коэффициент энергетической эффективности 3,6, с минимальными энергетическими затратами на применение минеральных удобрений 3452 МДж/га был на варианте с дифференцированным способом их внесения по элементарным участкам на планируемую урожайность 3,0 т/га.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

В целях повышения эффективности применения минеральных удобрений:

- рекомендовать Государственным станциям агрохимической службы регионов проведение агрохимических обследований по элементарным участкам поля и передавать электронные картограммы хозяйствам в формате shp или kml для создания карт заданий внесения минеральных удобрений с целью снижения затрат на дифференцированное внесение минеральных удобрений в режиме off-line.

- при планируемой урожайности яровой пшеницы 3,0 и более товаропроизводителям АПК необходимо использовать дифференцированное внесение азотных удобрений по элементарным участкам поля на полях с низкой и средней степенью обеспеченности нитратным азотом и его пространственной вариабельностью в слое почвы 0-40 см более 25,0 %.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендуемых ВАК Российской Федерации:

1. Абрамов Н.В. Дифференцированное внесение минеральных удобрений с использованием космических систем /Н.В. Абрамов, **С.В. Шерстобитов**, О.Н. Абрамов, // Агропродовольственная политика. – 2014. – № 2 – С.2-8.

2. Абрамов Н.В. Земледелие с использованием космических систем / Н.В. Абрамов, С.А. Семизоров, **С.В. Шерстобитов** // Земледелие. – 2015. – № 6 – С.13-18.

Статьи, опубликованные в других научных журналах и сборниках материалов международных и всероссийских научно-практических конференций:

3. Шерстобитов С.В. Использование космических систем для внесения минеральных удобрений в почву при посеве / **С.В. Шерстобитов** // Научно-практическая конференция «Научно – техническое творчество молодежи – путь к

обществу, основанному на знаниях» Сборник докладов IV международной научно-практической конференции. – г. Москва. – 2012. – С. 379-382.

4. Абрамов Н.В. Точное земледелие для агротехнологий высокой интенсивности / Н.В. Абрамов, С.А. Семизоров, О.Н.Абрамов, **С.В. Шерстобитов** // Повышение эффективности почвозащитных ресурсосберегающих систем земледелия: материалы Международной научно-практической конференции посвященная 75-летию со дня рождения В.Г. Холмова. Под ред. Академика И.Ф. Храмцова. – Омск. – 2012. – С. 24-29.

5. Шерстобитов С.В. Оптимизация минерального питания яровой пшеницы при дифференцированном внесении минеральных удобрений с использованием навигационной системы / **С.В. Шерстобитов** // Инновационное развитие АПК Северного Зауралья: Сборник материалов региональной научно-практической конференции молодых ученых. – г. Тюмень. – 2013. – С.142-145.

6. Абрамов Н.В. Точное земледелие в системе ресурсосберегающих технологий возделывания зерновых / Н.В. Абрамов, С.А. Семизоров, О.Н.Абрамов, **С.В. Шерстобитов** // Геоинформационные технологии в сельском хозяйстве: Международная научно-практическая конференция. – г. Оренбург. – 2013. – 2013. – С.30-40.

7. Семизоров С.А. Спутниковая навигационная система в агротехнологиях / С.А. Семизоров, **С.В. Шерстобитов** //Актуальные вопросы образования и науки (часть 9): Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. – г. Тамбов. – 2014. – С.130-131.

8. Шерстобитов С.В. Влияние дифференцированного внесения азотных удобрений на урожайность яровой пшеницы / **С.В. Шерстобитов** // Перспективы развития АПК в работах молодых ученых: Сборник материалов региональной научно-практической конференции молодых учёных. ФГБОУ ВПО ГАУ Северного Зауралья. – г. Тюмень. – 2014. – С. 167-173.

9. Семизоров С.А. Сравнительный анализ методики создания карт сельскохозяйственного землепользования / С.А. Семизоров, **С.В. Шерстобитов** // Информационные процессы в АПК: Сборник статей VI Международной научно-практической конференции преподавателей, молодых ученых, аспирантов и студентов. ФГБОУ ВПО РУДН аграрный факультет. – г. Москва. – 2014. – С.360-362.

10. Казакова В.В. Азотный режим питания яровой пшеницы при дифференцированном и традиционном способах внесения удобрений / **С.В. Шерстобитов**, В.В. Казакова // Итоги Всероссийского конкурса на лучшую работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений. Министерства сельского хозяйства РФ. В номинации «Агрохимия и агропочвоведение». – г. Нижний Новгород. – 2014. – С. 66-69.

11. Абрамов Н.В. Внесение минеральных удобрений с использованием космических систем / Н.В. Абрамов, С.А. Семизоров, **С.В. Шерстобитов** // Мир инноваций: Специальный выпуск, посвященный Всероссийскому дню агрохимического поля. – Тюмень. – 2015. – № 2 – С. 9-18.