

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И.Вавилова

На правах рукописи

АЗАРОВ КАРЕН АЛЬБЕРТОВИЧ

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ ПОД ЗЕРНОВЫЕ КУЛЬТУРЫ
С УЧЕТОМ ГЕОМОРФОЛОГИИ АГРОЛАНДШАФТА И УРОВНЯ
СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА В ПОЧВЕ**

Специальность 06.01.04 - Агрохимия

ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор **Медведев И.Ф**

Саратов – 2014

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	4
Глава 1. Обоснование выбора направления исследований	12
1.1. Ландшафт – основа стабилизации и поддержания процессов обмена энергии	12
1.2. Роль агроландшафта в формировании почвенно-агрохимических свойств почвы	14
1.3. Потери гумуса и питательных веществ из почвы	19
1.4. Роль гумуса в формировании элементов эффективного плодородия почв	24
1.5. Связь урожайности зерновых культур с геоморфологическими и почвенно-агрохимическими свойствами почв в агроландшафте	28
Глава 2. Условия, методика и объекты проведения исследований	32
2.1. Характеристика региональных природных условий	32
2.2. Геоморфологическое строение и рельеф	33
2.3. Характеристика объекта исследований	37
2.4. Методика проведения исследований	40
2.5. Схемы опытов	44
Глава 3. Основные экологические факторы формирования почвенно-агрохимических показателей в агроландшафте	47
3.1. Эрозионные процессы в период весеннего снеготаяния	47
3.2. Потери и поступление биогенных веществ в почву с дождевыми осадками	49
3.3. Влияние рельефа на внутрипочвенное перераспределение почвенно-агрохимических показателей в агроландшафте	54
Глава 4. Внутриполевая дифференциация почвенно-агрохимических показателей в агроландшафте	67
4.1. Технология почвенно-агрохимического тестирования почв на тестовых полигонах	67
4.2. Контурный анализ почвенно-агрохимического состояния пашни на тестовых полигонах №2 и №6	70
4.3. Дифференциация контурных систем почвенного плодородия и их вариабельность в пространстве	72
4.4. Связь элементов почвенного плодородия с гумусом	83
Глава 5. Влияние удобрений на урожайность зерновых культур в различных экологических условиях	87
5.1. Экологические условия применения удобрений в агроландшафте	87
5.2. Связь урожайности и качества пшеницы с уровнем со-	95

	держания в почве гумуса и питательными элементами	
5.3.	Эффективность удобрений в условиях точного земледелия	104
5.4	Расчетный баланс минерального азота (нитратного) под озимой пшеницей в условиях различного содержания гумуса в почве	112
Глава 6.	Эколого-энергетическая и экономическая эффективность применения удобрений под зерновые культуры	116
6.1.	Влияние рельефа на энергетическую эффективность удобрений при возделывании яровой пшеницы	116
6.2.	Влияние содержания гумуса в почве на энергетическую эффективность вносимых удобрений	119
6.3	Экономическая эффективность применения удобрений при различном содержании гумуса в почве	126
	Заключение	130
	Рекомендации производству	132
	Список использованной литературы	133
	Приложения	158

Введение

Закономерность развития сельского хозяйства находится под непосредственным влиянием, прежде всего природных и антропогенных процессов. Наиболее яркое проявление природных процессов в современных условиях связывается с глобальным изменением климата и повышением его аридности. На этом фоне широкое применение средств химизации позволяет усилить устойчивость производства сельскохозяйственной продукции и функционирования агроэкосистемы [53,98].

Почвенному покрову как основному источнику питательных элементов для растений принадлежит роль связующего звена в биосфере. Вместе с растительным покровом он играет громадную роль в сохранении нормального режима агроэкосистемы и биосферы в целом. Мозаика почвенного покрова отражают неоднородность ее ландшафтного и климатического территориального разнообразия. Изменение климатических условий в значительной мере изменили условия формирования стока талых вод и переориентировали функциональные особенности отдельных факторов принимающих участие в формировании почвенно-агрохимических показателей, усилилась связь урожайности отдельных групп, прежде всего, зерновых культур с уровнями плодородия почв в агроландшафте [97]. На этом фоне существенно снизились качественные и количественные показатели продуктивности сельскохозяйственных культур. Основная причина недостаточная адаптация к фактическим современным природным условиям технологий применения удобрений, а также низкий уровень возмещения питательных веществ потерянных в результате эрозии и выноса с урожаем сельскохозяйственных культур.

В данных условиях, для выявления дифференциации почвенного плодородия, актуально проведение диагностики состояния почвенного покрова при помощи проведения почвенно-агрохимического обследования, основанной на применении геоинформационной системы и компьютерной обработки, которая дает возможность отразить на картографическом материале диф-

ференциацию по элементам почвенного плодородия. Применение компьютерных технологий позволяет полнее адаптировать технологии возделывания сельскохозяйственных культур к различным уровням плодородия почвы более рациональному использованию почвенных ресурсов [218,185].

Результатом компьютерной обработки почвенно-агрохимического обследования является картографический материал, при использовании которого возможно формирование рабочих участков по близкому уровню плодородия, что дает возможность эффективно использовать почвенные ресурсы.

Учитывая, что в степной зоне почвы на территории Саратовской области подвергается активному воздействию различного уровня и интенсивности процессов деградации, возникает проблема формирования близких по уровню плодородия рабочих участков и соответствующих систем удобрения с целью углубления адаптации сельскохозяйственных культур к различным экологическим условиям.

Степень разработанности темы. Ландшафтное районирование территории почв степного биома выявило высокую степень их геоморфологической напряженности. По статистическим данным только в Саратовской области более 60% всех пахотных земель находятся на склонах различной крутизны и экспозиции.

Глобальное изменение климата и высокая активность различных негативных природных процессов способствовали формированию интразональных зон агрохимической обеспеченности пашни, уровня урожайности и качества получаемой продукции [74,217,218,77,56,221,222,127,146,185,109,101].

При этом различия по урожайности сельскохозяйственных культур между отдельными почвенно-агрохимическими контурами (рабочими участками) в агроландшафте могут достигать показателя колебания уровня урожайности при переходе из одной природно-климатической зоны в другую [65,118,200,74].

Имеющиеся в литературе данные эффективности удобрений под различные сельскохозяйственные культуры на почвах получены в основном для выровненных плакорных участков в агроландшафте [15,16, 46,82,93,130,147,148,149,165,198]. Однако размещенная на положительных и отрицательных формах рельефа пашня по своим агрохимическим и продуктивным показателям несопоставима с почвами выровненных участков и требуют дополнительного их изучения.

Развитие точного земледелия базируется, прежде всего, на результатах почвенно-агрохимической диагностики. Выделенный на поле с помощью навигационного оборудования спектр контуров почвенного плодородия позволяет более объективно оценить потенциальные возможности различных по рельефу и уровню плодородия внутриполевых рабочих участков (контуров) и на этой основе разработать эффективные и экологически безопасные системы удобрений.

Наличие цифровых агрохимических картограмм, на которых с учетом геоморфологической ситуации на поле, выделены базовые почвенно-агрохимические контуры (рабочие участки) позволяют перейти к точному, дозированному применению удобрений и формированию ландшафтных систем удобрений.

Влияние удобрений на процесс формирования почвенно-агрохимических показателей и продуктивность зерновых культур в условиях выраженного рельефа на черноземных и темно-каштановых почвах до настоящего времени остается малоизученными.

Актуальность исследований. Почвенному покрову, как основному источнику питательных элементов для растений, принадлежит роль связующего звена в биосфере. Вместе с растительным покровом он играет громадную роль в сохранении нормального режима агроэкосистемы и биосферы в целом. Региональная мозаика почвенного покрова в полной мере отражает как геоморфологические, так и микроклиматические особенности территории.

Глобальное потепление в значительной мере изменили условия формирования стока талых вод, что в свою очередь привело к фациальному переформированию почвенно-агрохимических показателей, усилилась роль рельефа в формировании продуктивных и качественных показателей возделываемых сельскохозяйственных культур.

Возникла острая необходимость возмещения выноса растениями питательных элементов и их безвозвратной миграции в процессе горизонтального и вертикального внутрипочвенного стока за счет внесения удобрений и других средств интенсификации.

Решение этого вопроса связано с проведением рельефной типизации, формированием однотипных по содержанию гумуса рабочих участков и повышением уровня обеспеченности растений питательными элементами, прежде всего, за счет внесения удобрений с учетом геоморфологии поверхности поля.

Применение компьютерных технологий при детальном почвенно-агрохимическом обследовании позволяет провести геоморфологическую типизацию, отразить на картографическом материале пространственную дифференциацию уровней содержания гумуса в почве и обеспеченность почвы питательными элементами, и в процессе генерализации контуров сформировать из них рабочие участки (поля) с однотипными почвенно-агрохимическими показателями. Применение удобрений под различные сельскохозяйственные культуры на однотипных по рельефу рабочих участках (полях) и с учетом содержания гумуса в почве приведет к повышению их эффективности.

Влияние удобрений на продуктивность и качество зерновых культур в условиях глубокой дифференциации рельефа и содержания гумуса в почве на черноземных и каштановых почвах до настоящего времени остается малоизученным, что и послужило основанием для проведения исследований.

Цель и задачи исследований. Цель исследований заключалась в разработке эффективных доз удобрений под зерновые культуры на черноземах

обыкновенных и южных и определении связей урожайности культур и вносимыми под них удобрений с геоморфологическими условиями поверхности поля и уровнями содержания гумуса в почве.

В задачи исследования входило:

- определить источники поступления питательных элементов в почву и их основные регулирующие факторы;
- установить связь агрохимических показателей с элементами геоморфологии и содержанием в почве гумуса;
- определить особенности действия доз минеральных удобрений на урожай и качество зерновых культур в различных экологических условиях;
- рассчитать эколого-энергетическую и экономическую эффективность применения минеральных удобрений под зерновые культуры.

Научная новизна. Впервые для черноземов обыкновенных и южных Саратовской области с использованием фациальной принадлежности пашни и уровней содержания гумуса в почве, разработаны приемы применения удобрений под зерновые культуры. Для обоснований фаций в агроландшафте проведена детальная фациальная почвенно-агрохимическая диагностика пашни с выделением пространственно размещенных контуров по элементам плодородия почв. Выявлена связь эффективности удобрений с геоморфологией поверхности поля и пестротой почвенного плодородия.

Теоретическая и практическая значимость. Теоретическая значимость работы заключается в установлении особенностей применения удобрений под зерновые культуры с учетом содержания в почве гумуса и геоморфологического строения поверхности поля в агроландшафте.

Практическая значимость работы определяется разработкой экономически обоснованных доз внесения азотных удобрений под яровую пшеницу Наа34-68 кг/га д.в, обеспечивающих повышение урожайности в трансэлювиальной фации на 26,9 %, а в трансаккумулятивной на 30,5 %.

На различных по уровню содержания гумуса почвах установлена тесная связь между урожайностью озимой пшеницы и дозами вносимых удоб-

рений. В условиях глубокой дифференциации почвы по содержанию гумуса в пределах конкретного поля эффективную дозу азотного удобрения для подкормки озимой пшеницы, полученную на рабочем контуре с минимальным содержанием гумуса, следует увеличивать из расчета 20 % на каждый 1 % прироста гумуса в почве других рабочих контуров. Разработанные приемы применения удобрений внедрены на площади 150 га в ООО фирма «Иловля» Красноармейского района и на 500 га в ФГУП «Аркадакская сельскохозяйственная опытная станция» Россельхозакадемии, что позволяет увеличивать урожайность озимой и яровой пшеницы в среднем на 24%.

Методология и методы исследований. Методология проводимых исследований основана на анализе научных статей, отечественных и зарубежных авторов, патентной литературы, информационных изданий и книг научной и производственной тематики. В работе использовались полевые, лабораторные, лабораторно-полевые, экспедиционные и статистические методы.

Основные положения, выносимые на защиту:

- источники формирования агрохимических показателей в почве.
- оптимальные дозы удобрений под озимую и яровую пшеницу на черноземах обыкновенных и южных.
- связь эффективности доз удобрений с почвенной геоморфологией и уровнем содержания гумуса в почве.
- эколого-энергетическая и экономическая эффективность применения удобрений под яровую и озимую пшеницу.

Степень достоверности результатов проведенных исследований. Подтверждается удачным размещением типичных для степного биома Саратовской области объектов исследований (тестовых полигонов), тщательным обоснованием схемы полевого эксперимента, корректностью стандартных методик, большим числом выполненных наблюдений, учетов и анализов, использованием современных статистических методов оценки экспериментальных данных, результатами производственного внедрения.

Личный вклад автора. Соискатель принимал личное участие в проведении почвенно-агрохимического обследования пашни тестовых полигонов, разработке программы исследований и составлении схемы опытов по изучению эффективности в различных экологических условиях минеральных и органических удобрений, в анализе полученных данных и подготовке их к публикации в различных изданиях. Приведенные в работе результаты проведенных исследований по изучению связей эффективности вносимых под пшеницу удобрений с геоморфологией поля, гумусом и агрохимическими показателями почвы в полевых ценозах получены лично автором в объеме 80-85%.

Всем сотрудникам, принимавшим активное участие в подготовке диссертационной работы, выражаю свою глубокую благодарность.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы были доложены и обсуждены на международных научных конференциях «Вавиловские чтения» (г. Саратов, 2012, 2013), молодых ученых и специалистов, посвященной 140-летию Г.К. Мейстера (г. Саратов, 2013), молодых ученых и специалистов, посвященной 140-летию со дня рождения А.Г. Дояренко (г. Саратов, 2014); Всероссийских конференциях: молодых ученых и специалистов, посвященной 135-летию со дня рождения А.И. Стебута (г. Саратов, 2012), информационно-технологическое обеспечение адаптивно-ландшафтных систем земледелия (г. Курск, 2012), агротехнологическая модернизация земледелия (г. Курск, 2013); конференциях профессорско – преподавательского состава СГАУ (г. Саратов, 2012, 2013, 2014).

Реализация результатов исследований. Результаты проведенных исследований апробированы в «Экспериментальном хозяйстве» ГНУ НИИСХ Юго-Востока, Аркадакской ГСХОС, КФХ «Сарсенбаев Г.Т.» Пугачевского района, ООО «ТВС-АГРО» Аткарского района, ООО фирма «Иловля» Красноармейского района.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 научных работ, из них 3 – в реферируемых журналах по списку ВАК.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на **181** страницах компьютерного текста, состоит из введения, 6 глав, выводов и предложений производству, включает **43** таблицы, **24** рисунка, имеет **26** приложения. В список литературы входят **244** источника, в том числе **20** – зарубежных авторов.

ГЛАВА 1. Обоснование выбранного направления исследований (теоретический аспект)

1.1. Ландшафт – основа стабилизации и поддержания процессов обмена энергии

Ландшафтом обычно называют такую деятельность человеческого общества, которая концентрируется в весьма ограниченной сфере. В ландшафте объединяются и взаимопроникают друг в друга компоненты неживой природы (литосфера, атмосфера, гидросфера), почвенного покрова (педосфера) и биосфера (включая человека и его деятельность). Причем человек остается частью природы, несмотря на созданную им искусственную среду обитания [18].

Ландшафт – это большая и сложная динамическая система земной поверхности, в которой происходят взаимодействие и взаимопроникновение элементов лито-, гидро- и атмосферы [179].

Первые представления об антропогенных ландшафтах были заложены в начале XX века В.П. Семеновым-Тянь-Шанским, в своих работах автор вполне определенно раскрывает связь типа хозяйствования с особенностями организации ландшафта.

Антропогенный ландшафт – это ландшафт, измененный в результате прямого или косвенного воздействия человека. Такое определение используется и в современной зарубежной ландшафтной экологии склоняется к трактовке, бытовавшей в первой половине века, что ландшафт как геосистема, включает в себя человека и результаты его деятельности.

Сущность внутриландшафтных связей состоит в передаче вещества и энергии в форме гравитационного перемещения, влагооборота, миграции химических элементов, продуцирования и разложения биомассы и др., что в совокупности рассматривается как функционирование ландшафта [70].

Однородные системы (фации, местности, ландшафты) лучше приспособ-

сабливаются к нейтрализации концентрированных локальных воздействий, дополнительные (консорции, урочища) – имеют хорошо развитые механизмы саморегуляции, которые принимают на себя тотальное влияние [7].

Самоорганизация ландшафта – это накопление селективно ценной информации (в том числе для живых существ – за счет естественного отбора), увеличение энергетического потенциала, усиление контроля за отклонениями, которые могут вносить разлад в функционирование системы.

Культурный ландшафт менее устойчив, чем природный, т.к. естественный механизм саморегуляции в нем, в той или иной мере, нарушен и требуются усилия по его поддержанию. Естественный ландшафт стремится отторгнуть чуждые ему элементы и вернуться к своему первоначальному состоянию. Изменение ландшафта, испытавшего на себе воздействие человека, может оказаться необратимым. Степень обратимости или необратимости различных измененных ландшафтов может колебаться в очень широких пределах [77].

Неотъемлемым биокосным элементом агроландшафта и агроэкосистемы является почва, которая выступает фактором упорядочивания их структуры.

Почва относится к открытым системам, существующим в условиях притока вещества и энергии извне. Устойчивость такой системы в значительной степени зависит от внешних условий, несмотря на то, что почва обладает стабильной буферностью.

Интегральным показателем устойчивости почв к различным химическим воздействиям должно быть ее эколого-геохимическое состояние, обеспечивающее нормальное функционирование присущих данной биогеоэкологической системе совокупностей живых организмов [30].

Почва выполняет важную биосферную функцию, являясь резервуаром и депо биофильных элементов. Функционирование почв характеризуется равновесием между поступлением органического вещества и его минерализацией, между поступлением с опадом минеральных элементов и их включе-

нием в биологический круговорот [187].

Показателями нормального функционирования почвы является биологическая продуктивность почвы и качество получаемой (производимой) продукции [37].

1.2. Роль агроландшафта в формировании почвенно-агрохимических свойств почвы

Главной проблемой XXI века является проблема смены климатических условий [38]. В последней четверти XX века наблюдалось резкое потепление, которое в бореальных областях проявлялось, прежде всего, в увеличении количества теплых зим. За последние 100 лет средняя температура приземного слоя воздуха в масштабе всей планеты поднялась на 0,6-0,7°C. Также отмечается увеличение годовых сумм осадков в среднем на 5-15 %, особенно в летний период [38].

В последней четверти XX века среднегодовая температура воздуха в средних широтах повышается на 0,33°C за 10 лет. По исследованиям М. И. Будыко в большей мере это происходит за счет повышения зимних и весенних температур, на 0,46 и соответственно 0,43°C. В летний период повышение температуры составляет соответственно 0,26 и 0,16°C [28].

Проведенные наблюдения сотрудниками ГНУ НИИСХ Юго-Востока за 75-летний период свидетельствуют об устойчивом росте температуры воздуха по всем метеорологическим станциям Саратовской области со скоростью 0,2-0,3° каждые 10 лет. В правобережных районах области среднегодовая температура воздуха за 75-летний период увеличилась на 1,4-1,8°, а в левобережных – на 1,5-2,3° [95].

С 1984 г по настоящее время наблюдается тенденция снижения активности стока талых вод и накопление весенних и осенних запасов свободной влаги.

Активизация гидроморфных процессов и выщелачивание почвенного профиля произошло при снижении стока талых вод и повышенном поглощении зимних осадков почвой [177].

Таким образом, активность почвообразовательных процессов определяется выраженностью рельефа местности, процессами эрозионной деятельности и интенсивностью использования пашни в агроландшафтах.

Оптимизация и стабилизация процессов почвообразования в агроландшафте связано с внедрением почвозащитных приемов от эрозии.

Производительность агроландшафта зависит, прежде всего, от плодородия почвы. Плодородие почв – интегральная экологическая функция почв, обеспечивающая формирование пространственно-временной изменчивости и обусловленная взаимодействием различных свойств и функций [49,77,98,103].

Землеустроительные элементы, если они не учитывают роль природы, могут стать элементами негативной нагрузки на экологический каркас, что в дальнейшем выразится в снижении урожайности, качества получаемой продукции. Отсюда выделяются значение первостепенной важности: поддержание и сохранение саморегулирующих почвенных свойств, напрямую зависящих от средоформирующих и средостабилизирующих элементов агроландшафта.

Негативные экологические последствия, возникшие в процессе деятельности человека, могут быть значительно уменьшены или устранены в ходе обустройства агроландшафта и применения современных диагностических методов почвенно-растительной системы. Диагностический метод с использованием геоинформационной системы – и сопутствующих ей технологий позволит решить проблему и получить подробную информацию об экологическом состоянии почвенной системы [244]. Однако для реализации технологий точного земледелия требуется как новая техника, так и новые методы агрохимического обследования. Идеология точного земледелия не является для России чем-то новым. В начале 70 - 80-х гг. учеными велись разра-

ботки методологии по управлению производственными процессами сельскохозяйственных культур и автоматизированных информационных систем его обеспечения. Г.П. Устенко, А.Ф. Чудновским, А.А. Зиганшиным, И.С. Шатиловым, М.С. Савицким, А.П. Федосеевым, А.А. Климовым, Х.Г. Тоомингом, Г.Е. Листопадом, М.М. Каюмовым, Л.Р. Шарифулиным были установлены принципы его агрофизического, агрометеорологического, агротехнического и агрохимического программирования.

Теорию точного земледелия можно представить как усовершенствование программирования и прогнозирования урожаев. Идея современного точного земледелия была выражена Д.Н. Прянишниковым – основоположником отечественной агрохимии, академиком, который в 1946г. писал: «Определение содержания в почвах подвижных форм фосфора, калия и азота может быть использовано для дифференцирования доз и соотношений азотных, калийных и фосфорнокислых удобрений, вносимых в одном и том же поле севооборота и под одну и ту же культуру, но на участках поля, различающимся по почвенно-агрохимическим показателям. Отсюда большое значение приобретают способы учета этих изменяющихся в пространстве и во времени почвенного потенциала в целях целесообразного применения удобрений» [146,153].

Опустынивание и увеличения пестроты почвенного покрова происходит в условиях интенсивного изменения климатических условий [116].

В Саратовской области наиболее сильно развиты процессы водной эрозии, что приводит к ухудшению агрофизических и биологических, а также агрохимических, свойств почв и снижению их продуктивности на 10-50% [119].

Яровая пшеница наиболее сильно реагируют на уровень смывости почвы, менее заметная реакция наблюдается у озимой пшеницы. Так на слабоэродированных почвах по сравнению с неэродированными потери урожайности яровой пшеницы составляли около 15%, а на среднеэродированных – 31%, озимая пшеница соответственно теряла 6% и 12% [115].

В процессе эрозионной деятельности происходит перераспределение мелкозема с элементами плодородия по склону с поверхностными и внутрипочвенными водами. Поэтому дефицит элементов эффективного плодородия растения ощущают на склоновых почвах в большей мере, чем на зональной почве [74,117].

В зависимости от степени смывости почвы, на склоновых почвах нитрификационная способность черноземных почв понижается на 11-32% [40].

На данный момент технологии точного земледелия основываются на применении методов картографирования внутрипольной дифференциации почвенного покрова, использовании современных компьютерных программных обеспечениях для обработки информации данных, вовлечение автоматизированной техники для внесения удобрений и пестицидов на координатной основе. Продолжение исследований в области точного земледелия и совершенствование методологических и технологических приемов должны расширить масштабы внедрения точного земледелия в мире и, особенно, в нашей стране с ее «пестропольем» [7,243].

Сплошное внесение удобрений, в процессе которого количество вносимых удобрений становится избыточным на одном участке и недостаточным на другом, в скором времени будет заменено точным внесением, способным дать необходимое количество питательных веществ, в зависимости от пестроты почвенных показателей. Такой принцип применения агрохимикатов и, в частности, удобрений должен стать законом, так как сила антропогенного влияния от этого приема влияет как на качественные показатели урожая и величину получаемой продукции, так и очень велико воздействие на окружающую среду [221,222].

В гумусе сосредоточено 60% фосфора, 80% калия, 98% запасов почвенного азота, а также все необходимые элементы минерального питания растений. До 88% энергии сосредоточено в пахотном слое в инертном гумусе.

Наиболее богатыми гумусом являются черноземы, где обильному образованию гумусовых веществ способствовала богатая травянистая растительность, деятельность дождевых червей, а также активная деятельность микроорганизмов, а их закрепление в почве обеспечивает высокое содержание глинистых минералов [6].

В научной литературе представлен экспериментальный материал, показывающий тесную взаимосвязь полученного урожая от содержания гумуса в почве.

В границах определенного участка или отдельно взятого поля, реакция почвенной среды, содержание гумуса в пахотном слое почвы, основных питательных элементов в определенной степени подчиняется закону нормального распределения.

Также не менее значимая, особенность структуры пространственного распределения почвенного плодородия состоит в том, что наибольшая пространственная изменчивость (вариабельность) по содержанию гумуса в почве, подвижного калия и подвижного фосфора наблюдаются как на участках с относительно большими, так и с меньшими значениями этих показателей в промежуточном снижении вариации, т. е. среднем интервале. Для выравнивания агрохимических показателей и плодородия почвы в целом необходимо, учитывать данную закономерность, которая позволит выбрать оптимальную стратегию, направленную на улучшения почвенного плодородия [222].

Так как все агротехнические и технологические операции на поле сельскохозяйственного значения дифференцированы т.е., разграничены как в пространстве так и во времени, то при почвенной обработке необходимо учитывать разнообразие и микроклиматических геоморфологических особенностей каждого рабочего участка.

Развитие ландшафтной агрохимии в рамках точного земледелия позволяет сблизить биологические особенности растений с экологическими особенностями каждого обособленного, по каким либо признакам участка поля. В современной системе земледелия создаются возможности для управления и

контроля ростом и развитием растений на всех отдельно взятых участках поля. Каждый рабочий участок в пределах поля рассматривается как система, состоящая из неоднородных участков с различными физическими, биологическим и агрохимическими, показателями.

1.3. Потери гумуса и питательных веществ из почвы

Потери основных элементов питания и гумуса из плодородного слоя почвы в результате эрозии определяется как антропогенным, так и природным влиянием. Набор факторов, контролирующих величину и интенсивность смыва питательных веществ очень широк. Основными факторами являются: тип почвы, технологии внесения удобрений, степень покрытия растительным покровом, гидрологический режим местности и уровень противоэрозионной защиты.

Величина потерь питательных элементов в количественном отношении в результате эрозионных процессов определяется количеством стока. Основной смыв почвы наблюдается в лесостепной зоне Европейской части России и происходит в период снеготаяния с тальми водами. По мере продвижения с севера на юг и юго-восток Европейской части России объем стока с зяби в весенний период падает со 110 до 31 мм, с уплотненной пашни - со 140 до 75 мм [184, 34]. В летнее время года в лесостепных районах ливневые осадки могут вызывать большой объем смыва почвы. Однако его часть в общем объеме почвы от водной эрозии, как правило, небольшой [69,12]. Из исследований в Каменной степи, в структуре среднегодового стока, сток талых вод составляет от 60 до 80%, и лишь 20% ливневой. Индекс ливневых имеет небольшую величину [64,88,89]. До 1985 года характер проявления водных эрозионных процессов в пределах распространения черноземной зоны Поволжья не противоречил вышесказанной закономерности. В последние годы в связи с происходящими климатическими изменениями (1985-1999 гг.) формирование стока талых вод с зяби практически не наблюдалось.

В Молдове сток воды во время ливневых осадков достигает 50 мм, в вследствие чего при эрозионных процессах теряется в год около, 2,1 млн. т калия, 900 тыс. т азота, 180-220 тыс. т фосфора 4,1-6,2 млн. т гумуса. Причем с одного гектара многолетних насаждений и пахотных земель теряется 3-4 кг обменного 0,5-1 кг нитратного азота, 0,7-1 кг подвижного фосфора [81,193].

Потери плодородия почвы от смыва талыми и ливневыми водами определяется, прежде всего, почвенно-климатическими условиями и типом почвы. На дерново-подзолистых почвах в лесостепной зоне, среднегодовые размеры смыва почвы с зяби, по обобщенным данным [66], колеблются от 0,58 до 13,8 т/га, на черноземных почвах степной зоны - от 0,2 до 34,6 т/га (5,1 т/га), сухостепной зоне на каштановых почвах - от 0,2 до 7,8 т/га (4,1 т/га), и на серых лесных почвах - от 0,6 до 44,3 т/га (7,6 т/га). В отдельные годы, особенно в условиях сухостепной и степной зоны, на паровых полях смыв почвы от сильных ливней составляет от 20 до 50 и более т/га [65,66,57,17,206,123]. Ежегодно со склоновых земель лесостепной и степной зон сбрасывается в водоемы и овраги от 65 до 77 млрд.м³ и более талых вод, при использовании которых дополнительный сбор зерна могли бы обеспечить от 50 до 60 млн. т [100].

Из расчетов Украинского НИИ «Защиты почв от эрозии» сумма смыва почвы, в условиях полного отсутствия в пределах поля противоэрозионных мероприятий, составляет 290 млн. т почвы, с которой теряются 388 тыс. т фосфора, 455 тыс. т азота, 6,1 млн. т калия, и 9,3 млн. т гумуса.

В ЦЧЗ, с пашни склонов, ежегодные потери составляют 2,6 млрд. м³ талых вод [74].

С эрозионной деятельностью связано около 58% потерь общих запасов гумуса [11].

Обобщенные двадцатилетние данные (1965-1985 гг.) по степной зоне Поволжья (черноземные почвы) указывают, что сток талых вод на зяби составляет 13,2 мм, на плотной пашне - 40,1 мм.

В США ежегодные финансовые убытки от потери элементов эффективного плодородия от смыва оцениваются в 8,1 млрд. долларов при среднем смыве 17 т/га. При этом ежегодно удобрений поставляется на сумму свыше 9,0 млрд. долларов [237].

Эрозивный процесс приводит к потерям питательных веществ необходимых для роста и развития растений. Так смыв 1 см пахотного слоя приводит к снижению запаса гумуса в почве урожая на 2-4% и 4 т/га [78,79]. По проведенным исследованиям Кудеярова В.Н и др. [213] с одним миллиметром смытой почвы с гектара теряется от 100 до 200 кг связанного углерода, около 11 кг фосфора и от 11 до 21 кг азота.

Потери элементов питания можно разделить на группы. Первая группа – потери с твердым стоком, в основном смываются валовые формы элементов питания, и вторая – жидкий сток, при нем смываются подвижные (водорастворимые) формы. Водорастворимые формы являются основными источниками питания растений, а валовые формы являются резервом этих элементов.

Обобщенные многолетние данные свидетельствуют, о среднегодовом смыве почвы в ЦЧЗ без противоэрозионных мероприятий достигает на зяби 6,1 т/га, на посевах озимых культур – 3,1 т/га и многолетних травах – 0,5 т/га [65,159,74]. Возможная норма смыва почвы, по мнению М.Н Заславского должна колебаться в рамках 0,25-0,55 т/га, которая не превышает темп естественного почвообразования [60].

Соотношения мигрирующих веществ с жидким и твердым стоком имеют широкий диапазон и, как правило, определяются мероприятиями по защите и оптимизации почвенного плодородия, агрофоном, обеспеченностью почв питательными элементами, и составом атмосферных осадков. В случаях, особенно при загрязнении окружающей среды или неправильном применении удобрений эти соотношения, становятся более тесными и величина потерь питательных элементов с жидким стоком, достигает значительных размеров [210,74,202,112].

Причиняемый ущерб экологии (окружающей среде), чаще всего связан с нарушением технологии хранения, перевозки, а также неумелым использованием и внесением туков. Однако основным путем и источником загрязнения экологии является водная и ветровая эрозии [172,138,144,54,202,128,74]. По зарубежным данным в США, Канаде и Франции потери почвенного азота в результате эрозионного процесса на пахотных землях оцениваются 27 кг/га, 15 кг/га и от 30 до 182 кг/га соответственно [22,172].

По мнению И.И. Синягина в условиях недостаточности влаги на большей части бывшего СССР потери азота из удобрений невелики [168]. Еще ряд ученых пришли к аналогичному выводу [141,35,94,88]. Из внесенных удобрений в водоисточники попадает 30% калия 2-2,5% фосфора и 30% азота [142]. По данным зарубежных источников из внесенных удобрений вследствие эрозионной деятельности на склоновых землях теряется около 20% азота, от 2 до 5% фосфора и примерно от 10 до 70% калия [154]. На практике же теряется от 32 до 51% применяемых удобрений, из них, от внесенного количества, 15 до 20% составляют потери азота.

В ходе эрозионных процессов потери фосфора значительно меньше, так как потери фосфора связаны главным образом не с жидким стоком, а с валовыми потерями при эрозии [44]. В США ежегодные потери составляют шесть килограмм на гектар [36].

В количественном выражении калия в результате эрозионной деятельности теряется больше, нежели фосфора, однако, потери калия компенсируются благодаря накопленным его запасам в более глубоких слоях почвы.

Наибольшие потери питательных элементов наблюдались при внесении удобрений на таломерзлой почве и на черном пару. Меньшие потери почвы и удобрений наблюдались на полях с противоэрозионной обработкой почвы [99,131,17].

В период выпадения ливневых осадков, сток воды находится в тесном контакте на протяжении одного или двух часов с поверхностью почвы, а для

растворения поступившего количества почвенного материала требуется несколько дней [236,226].

Объем стока, атмосферные осадки, обработка почвы и удобрения оказывают наиболее заметное влияние на величину потерь агрохимических показателей. Покрытие растительностью почвы не менее 70%, обеспечивает высокую степень защиты от эрозионных процессов [233,230].

Поэтому при сильно- и среднесмытых почвах склонов целесообразнее размещать почвозащитные севообороты, в которых максимальная площадь отводится однолетним и многолетним травам и зерновым культурам, а также где исключаются чистые пары и по возможности пропашные культуры [161,21,206,86].

Наряду с почвозащитными свойствами, многолетние травы хорошо поддерживают и восстанавливают плодородие склоновых почв [194,120,3,40].

Зерновые культуры и многолетние травы в зернотравяном севообороте особенно хорошо защищают почву от ливневой эрозии [51,55,62,204].

Результаты исследований в других почвенно-климатических зонах выявили высокую агроэкологическую надежность и эффективность применения буферной защиты пара [195,91,169,206,61,62,170,104].

Годовые общие потери с 1 гектара подвижных форм питательных элементов со смывом и стоком в ЦЧЗ в год не превышает: фосфора 0,6-2,0 кг, калия 1,4-4,0 кг и азота 1,1-3,0 кг [74].

Систематическое проявление водной эрозии приводит к слабой реализации биоклиматического потенциала почвы, что приводит к снижению ее производительной способности. Исследования ученых в разных почвенно-климатических зонах показали, что на смытых почвах недобор урожая сельскохозяйственных культур может колебаться в пределах от 10 до 60%.

1.4. Роль гумуса в формировании элементов эффективного плодородия почв

Важнейшим показателем почвенного плодородия является содержание гумуса, т.е. органического вещества в почве.

Крупномасштабные деградационные процессы происходят с ростом воздействия человека на природу. Так, почти 98% пахотных угодий России характеризуются отрицательным балансом гумуса. В пахотных почвах ежегодно на разных типах почв содержание гумуса уменьшается на 0,01-0,06 %, или 0,3-0,95 т/га. С этим связано снижение их плодородия [23].

Изучая плодородие черноземных почв Саратовской области И.Ф. Медведев отмечал, что почти исчезли мощные высокогумусные черноземы из системы почвенного покрова с содержанием гумуса до 12-14 %, т.е за время использования пашни черноземные почвы потеряли от 40 до 50 % гумуса [114].

Значительно ускорился процесс дегумификации вследствие вовлечения в сельскохозяйственное производство склоновых земель [150,45,58].

А.А. Танасиенко и А.Д. Орлов считали, что снижение плодородия почв в процессе смыва перегнойно-аккумулятивного горизонта происходит за счет постепенного вовлечения в пахотный слой нижележащих горизонтов, характеризующейся меньшим содержанием гумуса [135]. Так если в пахотном слое слабосмытых черноземных почвах содержание гумуса в среднем 9,0%, то на несмытых среднее содержание составляет 11,6%. Они считали, что незначительные потери гумусовых веществ и ила из верхней части почвенного профиля приводит к изменению органического вещества и его качественного состава [58].

Уменьшение количественного состава подвижных форм фосфора, азота, калия в почве происходит за счет снижения содержания в почве гумуса на смытых почвах [33]. Так, на эродированных почвах выщелоченного чер-

нозема содержание азота в валовой форме по сравнению с полнопрофильными почвами уменьшается на 0,14% или на 5,8 т/га в слое 0-50 см [75].

Основопологающими факторами, определяющими содержание подвижного и валового фосфора, являются окультуренность почв и характер почвообразующей породы. В результате распашки нижнего горизонта и действия эрозионных процессов на эродированных почвах содержание общего фосфора падает. По такой же причине, с увеличением эродированности почвы происходит снижение степени подвижности фосфора и его содержания в подвижной форме [80,106].

Содержание обменного калия в почве в большей мере зависит от гранулометрического состава почвы и степени ее смывости. При одинаковых окультуренности и гранулометрическом составе почвы, в эродированных почвах содержание обменного калия может несколько уменьшаться [152,170], увеличиваться [71,151] или оставаться неизменным.

Наблюдения в различных почвенно-климатических зонах выявили значительную вариабельность агрохимических показателей и дифференциацию почвенного покрова по содержанию гумуса в почве в зависимости от геоморфологии территории. Многие ученые считали, что это вызвано различными микроклиматическими условиями противоположных склонов [25,32, 83,186,196,200,231].

В своих наблюдениях на типичных черноземах Г.А. Чуян и др. отмечают, что изменение влажности и термического режима (температуры), а также реакции среды (рН) в значительной мере определяет направленность и интенсивность микробиологических процессов, формирование микроорганизмов [200]. Увеличение температурного режима и почвенного раствора рН способствует тому, что в почве южных склонов активнее осуществляется минерализация по сравнению с почвой теневых склонов. По мнению многих ученых, на различных экспозициях склона, складываются различные пропорции между накоплением и разложением органического вещества. Поэто-

му, содержание гумуса в почве на 0,4-0,82% меньше на почвах на склонах южной экспозиции, нежели на склоне северной экспозиции [200].

Изучая влияние экспозиции склона на качественный и количественный состав гумуса по подтипам чернозема, И.Ф. Медведев выявил, что уровень содержания гумуса на теплых склонах был на 12,8 % ниже, чем на холодных склонах [121].

Черноземы на склонах южной экспозиции, являются менее кислыми, чем на склонах северной экспозиции, данное явление объясняется степенью смывости почв и глубиной залегания карбонатов [74].

Гидролитическая кислотность находится в обратной зависимости от смывости почв, с увеличением степени смывости она уменьшается [75, 195, 200].

Важным фактором эффективности удобрений является пространственное распределение агрохимических свойств почв.

Пространственное распределение агрохимических свойств почв на угодье – это результат действия совокупности естественных процессов и практики землепользования. По мнению ряда авторов, внесение удобрений, повышает средний уровень содержания агрохимических показателей и, как правило, обычно приводит к возрастанию вариабельности в пространстве этих показателей. Авторы объясняют это тем, что помимо убывания естественной вариабельности, уменьшается дифференциация свойств в том же направлении, как и интенсивность применения удобрений. И. Г. Важенин и др. считают что, решающим фактором, обусловившим неоднородность по содержанию агрохимических показателей в пахотном слое, является не только различие по типовым почвенным признакам, но и характер активности деятельности человека – система земледелия и система удобрения [133].

Участки с пониженными и повышенными значениями свойств могут иметь в пространстве самые разные площадные контуры – от пятнистости до крупных выделов. Для построения картографического материала по вари-

бельности агрохимических свойств могут быть использованы различные способы, наиболее эффективными являются геостатические методы [163].

В формировании пестроты почвенного покрова огромную роль играют геоморфологическое и литологическое строение территории, что в дальнейшем отражается непосредственно на количественном и качественном показателе урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур [120,128, 221,240].

Рельеф, генезис почв, характер жизнедеятельности биоценоза и внесение удобрений, оказывают определенное влияние на пестроту почвенного плодородия и распределении питательных элементов в почвенном покрове [160,224].

Каждая из выше перечисленных причин в конкретных условиях может оказаться определяющей в формировании пестроты распределения элементов питания, так в различных условиях в одном случае наибольшее варьирование будет отмечено для калия, в другом – для фосфора или для другого элемента эффективного плодородия.

Дифференциация по плодородию почвенного покрова регулируется как антропогенными, так природными факторами. Степень пораженности почв эрозионными процессами и коэффициент расчлененности территории являются основными и определяющими факторами при формировании пестроты плодородия на распаханых почвах. Овражно-балочная сеть и рельеф активно принимают активное участие в формировании контурной системы по плодородию. Занимаемая площадь почвенных контуров определяется густотой овражно-балочной сети и пестротой материнской породы.

Почвенно-агрохимическая диагностика почвы с применением геоинформационной системы и компьютерных программ позволяет выявить и распознать на картографическом материале контурную дифференциацию почвенного покрова по плодородию и позволит проводить в дальнейшем экологический мониторинг.

Большая дифференциация почвенного плодородия приводит к снижению эффективности применения удобрений к усреднению уровня урожайности и его качества [9].

Экологический мониторинг по эксплуатации земельных ресурсов, должен базироваться на интегрированной оценке и постоянном экологическом мониторинге каждого элемента. Наиболее достоверный мониторинг может быть достигнут при фиксации в пространстве места отбора почвенного образца, т.е. с применением ГИС-технологий.

В настоящее время комплексная оценка плодородия земель сельскохозяйственного назначения по результатам проводимого агрохимической службой мониторинга, как правило, не проводится из-за отсутствия соответствующих рекомендаций. Это затрудняет научно обоснованное распределение возделываемых в хозяйстве культур по полям (участкам), разработку рациональной структуры посевных площадей и сельскохозяйственных угодий, севооборотов.

Комплексная оценка плодородия почв и земель необходима для разработки и установления очередности проведения по контурам, полям (участкам) агрохимических, агротехнических, фитосанитарных, мелиоративных, противозерозионных и других мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв, особенно при ограниченных финансовых возможностях. Она необходима и для стоимостной оценки сельскохозяйственных земель и оценки производственной деятельности хозяйств и растениеводческих подразделений сельскохозяйственных предприятий [127].

1.5. Связь урожайности зерновых культур с геоморфологическими и почвенно-агрохимическими свойствами в агроландшафте

В настоящее время многими научными учреждениями установлено, что применение экологического каркаса территории в целом или отдельных его

элементов с учетом геоморфологии агроландшафта приводит к повышению урожайности сельскохозяйственных культур [122].

Природные и антропогенные факторы формирования продуктивности возделываемых культур в распаханых ландшафтах, их интенсивность и соотношение между ними на фоне геоморфологического строения поверхности поля образует различные интразональные микроклиматические зоны [12,24,52,92,139,180,203,241,242].

Проведенные наблюдения за развитием микроклиматических показателей на различных фациях агроландшафта выявили их высокую динамичность.

Перераспределение солнечной энергии на поверхности зависит от расчлененности почвенной толщи, крутизны склонов и их экспозиции.

Южные склоны получают гораздо больше тепла, чем северные, поэтому склоны северной экспозиции прогреваются хуже, что отражается на характере растительности и водном режиме.

Неравнозначность экологической обстановки на различных элементах рельефа выражается в различии между собой элементов жизнедеятельности агробиоценоза: почвенно-агрохимическим показателям, интенсивности эрозийной деятельности и микроклиматическим ресурсам [126,162,34,85,74,217,104,113,96,97].

Фациальный анализ микроклимата на черноземах южных Приволжской возвышенности показал, что в летний период (июнь) суммарное количество радиации, приходящее от Солнца на склоны южной экспозиции крутизной от 3 до 5°, в среднем, на 4% превышало количество тепла приходящего на водораздельную фацию, и на 6,1%, приходящего на склоны северной экспозиции [113]. Наиболее широкие различия по приходу солнечной энергии между противоположными склонами отмечались в утренние часы, а более – уже в полдень.

Разность температурного режима на высоте 20 см в дневные часы между северным и южным склонами в приземном слое воздуха, колебалась, в

среднем в пределах, от 0,1 до 0,7°C, а относительная влажность воздуха от 1,0 до 4,0%. На южном и северном склонах относительная влажность воздуха по сравнению с водоразделом была в среднем на 3,0% ниже и на 1% выше фоновых значения соответственно.

Уровень микроклиматической изменчивости различных метеорологических величин находится в зависимости от местоположения по склону. Наиболее теплыми в дневные часы в условиях отсутствия ветра, были вершины и верхние части южных склонов.

Наиболее сухие участки располагаются на элювиальной фации склона южной экспозиции, на этой фации показатели относительной влажности воздуха были на 2,0% ниже, чем на водораздельной фации, а наиболее влажные участки расположены на трансаккумулятивных аккумулятивных фациях, относительная влажность приземного слоя воздуха, в среднем, на 2,0-3,0% превышала фоновые значения.

Значения термической разности на поверхности почвы, и на глубине 5 и 10 см, на водораздельных и элювиальных и трансаккумулятивных фациях варьируется, от 0,4 до 3,5°C, от 0,1 до 1,4°C и от 0,1 до 0,5°C соответственно. На склоне южной экспозиции эти разности достигали 0,5-1,9°C, 0,3-1,6°C и 0,2-0,7°C соответственно.

Таким образом, показанные выше различия по влажности приземного слоя воздуха в верхних слоях почвы полярных склонов, температуре, отдельных местоположений по склону в различных почвенных условиях, и приходе суммарной солнечной радиации свидетельствуют о наличии определенной изменчивости микроклиматического потенциала, что находит отражение на уровнях урожайности сельскохозяйственных культур.

По данным отдела экологии агроландшафтов ГНУ НИИСХ Юго-Востока в среднем за 24 года урожая яровой пшеницы, озимой пшеницы и ячменя на склоне южной экспозиции был на 12,2% (2,5 ц/га) ниже, чем на ровном участке (плато). За счет более благоприятных микроклиматических условий на склоне северной экспозиции, дефицит урожая зерновых культур

по сравнению ровными участками (плато) составил 0,7 ц/га, что в 3,6 раза ниже, чем на склоне южной экспозиции.

Таким образом, такие природные особенности как, ориентированность склонов и степень смывости почв, играют одну из главных ролей в формировании урожая сельскохозяйственных культур в условиях черноземной зоны Поволжья.

Таким образом, ухудшение экологического состояния почв, способствует недоиспользованию всего потенциала черноземных почв, что в свою очередь приводит к значительному недобору урожая сельскохозяйственных культур.

Глава 2. Условия, методика и объекты проведения исследований

2.1. Характеристика региональных природных условий

Климат Саратовской области характеризуется как засушливо-континентальный, который формируется под влиянием переноса воздушных масс с севера, северо-запада и, особенно, с юго-востока. Особенности данного климата являются: холодная и малоснежная зима, преобладание в течение года ясных и малооблачных дней, непродолжительная засушливая весна, жаркое и сухое лето [2].

Континентальности климата – определяется одним из показателей, большой амплитудой годовой температуры воздуха, то есть разностью между средней температурой самого теплого и самого холодного месяцев. Она равна 32-37 °С.

Вегетационный период продолжается от 150 до 160 дней. Продолжительность безморозного периода в среднем – 137 дней.

В конце ноября - начале декабря наблюдается образование устойчивого снежного покрова. Период залегания снежного покрова протекает в течение 115-130 дней. Накопленные осадки за зимний период составляют 25-30% годовой нормы, которые могут дать при максимуме снежный покров высотой от 20 до 25 см.

Количество выпавших осадков характерно для континентального климата. Выпадение осадков по территории отмечено неравномерное. Сумма годовых осадков колеблется в пределах 390-470 мм. Выпадения наибольшего количество осадков происходит в теплый период года (около 310 мм). За весенний период в переходе от среднесуточной температуры воздуха через 5 °С до перехода через 15 °С выпадает 26-51 мм осадков, а в каждый летний и осенний месяц 34-57 мм (**приложение 1,2,3**). Однако прослеживается изменчивость выпадающих осадков из месяца в месяц и из года в год, и их сумма за вегетационный период отклоняется от средней.

Анализ метеорологических данных с 1923 по 2013 года показал, что каждый год выпадают ливневые осадки объемом более 20 мм, в три года выпадает два дождя более 30 мм и в один год из трех – более 40 мм [113].

Однако тенденция изменения климата в современных условиях проявляется в значительном потеплении зим, с 1971 по 2013гг средняя температура в зимний период по Саратовской области повысилась на 2,2°, увеличилось число ливневых осадков и сильно засушливых периодов [97]. По расчетам за период с 1973 по 1997 года прослеживается закономерность увеличения количества дней с осадками более 10 мм.

2.2. Геоморфологическое строение и рельеф

Одним из основных фактором перераспределения агроклиматических и климатических ресурсов, является рельеф, он оказывает большое влияние на формирование продуктивности возделываемых культур и почвенного покрова в целом.

Морфологический облик рельефа. Более 70% территории Саратовской области определяется сочетанием повышенных и пониженных форм рельефа, а также овражно-балочных, водораздельных и склоновых форм, что определяет глубинные параметры местных базисов эрозионных процессов, которые меняются от 70 до 260 м и более, что в дальнейшем отражается на расчлененности территории и на коэффициенте расчлененности рельефа в целом. Значительную площадь занимают склоны. Водоразделы развиты плоские, плосковыпуклые. Наиболее распространены выпуклые и выпукловогнутые склоны. Часто встречаются антропогенные формы рельефа: земляные насыпи дорог, карьеры, искусственные пруды. Водоразделы и склоны распаханы [69].

На территории Саратовской области в Правобережной зоне 38,1% пашни расположено на землях крутизной до 1°, 44,3% - на склонах 1-3°, 14,2% – на склонах 3-5° и 3,7% – более 5°(таблица 1) [119,129].

Особенности климата Саратовского Правобережья, высокая расчлененность гидрографической сетью, преобладание склонов 1-3° способствуют возникновению водной эрозии почв.

Таблица 1

Геоморфологическая характеристика природно-географических зон Саратовской области

Микрозоны	Площадь зон, га							Итого
	Уклоны местности, град							
	< 1	1-3	3-5	5-7	8-10	10-15	>15	
Лесостепная	827679	677067	179296	53462	33265	16466	10565	1797800
Степная	1463422	1451892	163806	52158	35690	15010	17530	3199508
Сухостепная	2134683	658638	83213	17579	5564	3442	4440	2907559
Полупустыня	603727	51667	3096	1338	982	0	523	661333
Итого	5140860	2885195	431390	125796	75656	34958	33787	8727642

Устройство поверхности Нижнего Заволжья со времени работ почвоведов С.С. Неустерова, Л.И. Прасолова и А.И. Бессонова принято делить на четыре основные геоморфологические области: Общий Сырт, Сыртовую часть, Каспийскую равнину, и долины рек системы Волги и Узеней.

Севернее р.Б.Иргиз вдоль северной и северо-восточной административных границ Саратовской области лежит наиболее высокая и наиболее расчлененная часть территории Саратовского Заволжья – Высокая Сыртовая равнина, откуда поверхность постепенно и равномерно понижается с севера на юг и юго-запад. В южном направлении Высокая равнина переходит в более выровненную и менее расчлененную Южную Низкую Сыртовую равнину, а в западном и юго-западном подходит к долине р. Волги. Южная Сыртовая равнина в свою очередь еще менее заметно понижается в том же южном направлении и то круто, то постепенно в виде уступа сливается с Каспийской низменностью.

Наиболее высокие участки в пределах Высокой Сыртовой равнины лежат в верховьях Малого и Большого Иргиза, где абсолютная высота местности достигает 160 и 170 м над уровнем моря. Наибольшая высота местности

Сыртовой части в районе Иргиз-Узенского водораздела 115м, в южной части водоразделов Узеней и М.Узень-Еруслан ее высота падает до 70-60м.

Таким образом, падение от Высокой равнины до центральной части Южной Сыртовой равнины в среднем около 0,25-0,3м, а южнее 0,3-0,4м на километр.

При таком падении высот поверхность основных водораздельных массивов кажется совершенно ровной. Этот, в общем, ровный вид поверхности Заволжья нарушается наличием сравнительно густой сети речных долин, оврагов и балок. [189,190]

Зона сухих степей в Саратовском Заволжье занимает значительные пространства к югу от р. Большой Иргиз до широты Новоузенска. На востоке сухие степи занимают лишь небольшую территорию вдоль южных границ Оренбургской области.

По строению поверхности Саратовское Заволжье в зоне сухих степей носит однообразный равнинный характер. Равнина расчленена речными долинами на ряд крупных водораздельных перевалов, придающих поверхности Сыртовой, полого-волнистый вид.

По направлению к югу высоты снижаются до 70-60м, водоразделы сильно расширяются и в южной части принимают вид плоских пространств. К востоку, где границы саратовского Заволжья окаймляются южными отрогами Общего Сырта, высоты достигают до 181 метра.

Почвенный покров зоны характеризуется сравнительным однообразием. Господствующие положения занимают каштановые почвы. Они развиваются в условиях засушливого климата и, следовательно, в условиях пониженной биологической активности.[72,53].

Из почв каштанового типа наибольшим накоплением гумуса характеризуются темно-каштановые почвы (3,5-5%). Они обладают слабо выраженными солонцеватыми свойствами, в переходном горизонте имеют ясно выраженный подгоризонт белоглазки.

Наименьшим содержанием гумуса и наиболее выраженной дифференциацией почвенного профиля характеризуются светло-каштановые почвы (2%-3% гумуса).

В зоне каштановых почв Поволжья наиболее распространены как темно-каштановые почвы, так каштановые и светло-каштановые, последнее, однако лишь в комплексе с солонцами.

Наряду с темно-каштановыми почвами в северной половине водораздела рек Большого Иргиза–Малого–Узенья–Большого Узенья встречаются отдельные массивы южных черноземов, что подчеркивает переходной характер этой части зоны.

Черноземы южные занимают наиболее ровные плато водоразделов высотой 100-120м, где сток местных вод значительно затруднен. На северных и западных склонах сыртов черноземы южные встречаются и на меньших высотах.

По гранулометрическому составу черноземы южные, как темно-каштановые почвы, относятся преимущественно к тяжелым разностям и только по террасам р. Волги механический состав чаще всего средне суглинистый и супесчаный.

Для правобережных районов характерна местная географическая изменчивость почв в пространстве – интразональность.

На фоне большой мозаичности почвенного покрова, выделяются два основных подтипа почв Приволжской возвышенности: чернозем обыкновенный и чернозем южный, которые занимают 2399,9 тыс. гектаров или 51% от всех почв [187].

Более 90% площадей черноземных почв обладает низкой водопоглотительной способностью, и имеют глинистый и тяжелосуглинистый гранулометрический состав, вследствие чего они в большой степени подвержены смыву [158].

Черноземы южные в морфологическом отношении характеризуются небольшой мощностью гумусового горизонта (33-48 см) и заметным переходом от одного почвенного горизонта к другому почвенному горизонту [187].

Исследования Н.И. Усова показывают, что черноземы южные в Правобережной зоне Саратовской области обладают высокой концентрацией необходимых элементов для питания растений [187].

Черноземы южные характеризуются содержанием гумуса в почве от 4 до 5%, и мощностью гумусового горизонта – до 51 см. Гумусные кислоты черноземов южных связаны с кальцием, что обеспечивает хорошую буферную способность почв и характеризуется широким отношением $C_{г.к.}: C_{ф.к.}$.

Запасы агрохимических элементов питания соответствуют содержанию запасов гумуса в почве. Процентное содержание валовых форм азота и калия характеризуется как среднее и высокое соответственно, а относительно подвижные микроэлементы, такие как бор, цинк и медь можно охарактеризовать для данных почв хорошей обеспеченностью [194].

Более 70% площади пашни этой зоны подвергаются эрозионным процессам. Содержание гумуса в почве на неэродированных черноземах составляет 4,6-5,4%, а на эродированных – 1,5-3,5% [127].

Таким образом, природно-климатические, геоморфологические и агропочвенные условия способствуют проявлению эрозионных процессов, что приводит к формированию по уровню плодородия почв интразональных почв.

2.3. Характеристика объектов исследований

Исследования проводились в рамках общей схемы почвенно-экологического мониторинга (рисунок 1) на тестовых полигонах (т.п.) №2 и 5, расположенных на черноземах обыкновенных(т.п. №2) и черноземах южных (т.п. №5) в Правобережье Саратовской области. В левобережной части

рельефа определяется сочетанием водоразделов, склонов, овражно-балочных форм рельефа. Водоразделы развиты плоские, плоско-выпуклые, нередко на их поверхности встречаются денудационные останцы. Значительную площадь занимают склоны. Наиболее распространены прямые, вогнутые и выпуклые склоны. Почва – чернозем южный малогумусный маломощный легкоглинистый слабо-среднесмытый на делювиальных отложениях.

Тестовый полигон №6 располагается в Пугачевском районе Саратовской области на землях КФХ «Сарсенбаев Г.Т.», бывшего колхоза им. XXII партсъезда КПСС, в области Сыртового Заволжья с сырцовыми глинами на водоразделе М. Иргиз - Б. Иргиз, представляющем из себя платообразную возвышенность с хорошо развитой овражно-балочной системой. Балки и овраги имеют чаще крутые и обрывистые берега со следами эрозионных процессов. Климат ландшафтной единицы, в которой размещена территория хозяйства резко континентальный.

По геоморфологическому делению данная территория относится к району Высокой Сыртовой равнины. Почвенный покров территории хозяйства представлен черноземом южным. Основными почвообразующими породами являются лессовидные суглинки хвалынские, сырцовые глины и древние делювиальные тяжелые суглинки.

Также тестовый полигон №6 размещен на правом берегу реки Б. Иргиз на территории ООО «Агрофирма «Рубеж», бывшего колхоза им. XX партсъезда КПСС. Хозяйство расположено в долине реки Б. Иргиз. Рельеф территории равнинный с сильно развитым микрорельефом в виде западин-лиманов, всхолмлений и микропонижений.

Почвенный покров – представлен темно-каштановой маломощной малогумусной тяжелосуглинистой почвой. Мощность гумусового горизонта в пределах 27-30 см, вскипание карбонатов с 20-30 см. Гранулометрический состав тяжело- среднесуглинистый.

2.4. Методика проведения исследований

Исследования основных агрохимических характеристик потенциально-плодородия почв рабочих участков Саратовской области проводились в соответствии с общепринятыми методическими указаниями.

Агрохимическое обследование пашни тестовых полигонов проводилось по разработанной в отделе «Экология агроландшафтов» методической разработке (заявка № 2012143564 от 11.10.2012 г).

Предлагаемый способ почвенно-агрохимического обследования сельскохозяйственных угодий осуществляют следующим образом. По каждому земельному участку сельскохозяйственного угодья, подлежащему агрохимическому обследованию, для составления проекта определяют координаты поворотных точек, формирующих конфигурацию обследуемого участка, по которым составляют карту обследуемого участка. На карту наносят проект профилей. В проекте профили намечают параллельно намеченному азимуту и на расстояниях между намеченными профилями, которые изменяются в зависимости от крутизны склона. На намеченных профилях согласно геоморфологической ситуации, намечают отрезки для отбора смешанных почвенных проб. Составляют каталог координат начала, окончания намеченных профилей и отрезков на них.

Отбор смешанных проб проводят в границах запроектированных профилей по намеченному направлению (азимуту) прохождения маршрута. При этом в полевых условиях по мере изменения геоморфологических признаков поверхности участка по направлению прохождения маршрута (увеличение крутизны склона, направления склона по отношению к основному маршрутному профилю, выход почвообразующих пород) производят наложения дополнительных отрезков (профилей) в ту или иную сторону от основного маршрута для уточнения прохождения границ контуров, которые будут выделены на основе полученных данных при прохождении основного маршрутного профиля. Число дополнительных профильных отрезков лимитиру-

ется напряженностью геоморфологической ситуации. Смешанные почвенные пробы отбирают равномерно по всей длине отрезков, намеченных на основном маршруте. При этом с использованием, например GPS навигатора и эклиметра, фиксируют на координатной основе начало и конец дополнительных наложенных отрезков профилей для получения уточняющих данных, полученных при прохождении основного маршрута.

После завершения отбора смешанных проб на обследуемом земельном массиве прокладывают контрольный маршрут, на котором намечают отрезки, причем направления, начало и окончания отрезков контрольного маршрута, зафиксированных навигационным оборудованием, определяют в зависимости от степени выраженности рельефа местности и выхода почвообразующих пород. С контрольного маршрута смешанные почвенные пробы отбирают равномерно по всей длине намеченных отрезков.

Смешанные почвенные пробы с основного маршрута и контрольные смешанные почвенные пробы анализируют по методикам агрохимического анализа [134].

В компьютерной программе создают карты «центров тяжести» («центр тяжести» – среднее значение координат между началом и окончанием отрезков, по которым отбираются смешанные почвенные пробы). После введения сопряженных атрибутивных почвенно-агрохимических данных, проводят их интерполяцию и формируют карту почвенно-агрохимических контуров.

Для определения достоверности выделенных пространственных границ контуров при сплошном обследовании на сформированную карту почвенно-агрохимических контуров наносят с контрольных маршрутов «центры тяжести» и их атрибутивные почвенно-агрохимические данные, проводят их интерполяцию. На основании результатов интерполяции получают значения точек, которые характеризуют место прохождения пространственных границ почвенно-агрохимических контуров, полученных в результате прохождения контрольного маршрута.

Измеряют расстояния между точками, характеризующими место прохождения пространственных границ контура, выделенного при сплошном обследовании и точками характеризующими место прохождения пространственных границ контура, выделенного при контрольном маршруте. Линейными значениями замеров несовпадения границ при сплошном обследовании и контрольном маршруте определяют ширину коридора, которая характеризует достоверность прохождения пространственных границ почвенно-агрохимических контуров.

Отбор проб при агрохимическом обследовании по новой методике осуществлялся 1 смешанная проба с площади 5 га.

В целом при выполнении научной работе использовали полевые, лабораторные, лабораторно-полевые, экспедиционные и статистические методы. Исследования проводились в соответствии с методическими рекомендациями ГНУ НИИСХ Юго-Востока, ВНИИЗ и ЗПЭ, ВИУА, ГНУ ВНИИА, Гидрометеослужбы, почвенного института им. В.В. Докучаева, а также с учетом методических разработок Е.А. Дмитриева, Б.А. Доспехова, А.А. Роде, С.С. Соболева, Г.П. Сурмача, [48,50,158,174,183,184].

В опытах велись следующие наблюдения и исследования:

1. Запасы влаги в почве определены термостатно-весовым методом, с последующим пересчетом влажности на запасы продуктивной влаги в мм, в сроки: начало и конец вегетации, после уборки урожая и перед уходом в зиму - на первых вариантах, с двух типов севооборотов, на глубину 1,5 метра с интервалом 10 см в трехкратной повторности.

2. Питательный режим почвы. Почвенные образцы на содержание нитратного и аммиачного азота, подвижного фосфора и обменного калия отбирались буром Малькова на всех вариантах на глубину 40 см через каждые 20 см по методике отбора почвенных проб по элементарным участкам поля в целях дифференцированного применения удобрений. Пробы отбирались до посева, в начале и конце вегетации, перед уходом в зиму. Место отбора проб привязано на координатной основе.

3. Общее и валовое содержание гумуса определялось по методу И.В. Тюрина в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26213-84. Содержание общего азота в почве – по методу Къельдаля. Нитратный азот (нитрификационная способность по Кравкову в модификации Болотиной и Абрамовой) в почвенных образцах определялся потенциометрическим методом на иономере; подвижный фосфор и обменный калий - в 1% углеаммонийной вытяжке по Мачигину по ГОСТ 26205-91.

4. Нитрифицирующая способность почвы – по методу Кравкова в модификации Почвенного института им. В.В. Докучаева – по разности в содержании нитратов в почве до и после инкубации почвы в благоприятных для процесса нитрификации условиях (28⁰С, 60 % капиллярной влагоемкости, свободный доступ O₂); нитратный азот (для расчета нитрифицирующей способности почвы) – фотоэлектроколориметрированием с дисульфифеноловой кислотой методом Грандваль-Ляжу.

5. Учет урожая зерновых культур по базовым контурам путем отбора снопов с площадки 0,25м² в шестикратной повторности, а на стационарном опыте комбайном «Сампо». Урожай зерна приводился к 100%-ной чистоте и к 14%-ной влажности.

6. Определение содержания и качества клейковины (исследовались в лаборатории технологической оценки качества зерна сельскохозяйственных культур НИИСХ Юго-Востока) по ГОСТ 13586, 1-68.

7. Баланс азота – устанавливался расчетным путем по приходу с удобрений, семенами, атмосферными осадками и азотофиксацией свободноживущими микроорганизмами (для азота), расход- по выносу с урожаем озимой пшеницы (зерно+солома) и газообразными потерями на денитрификацию.

8. Определение экономической и энергетической эффективности технологий возделывания культур выполнялось по временной методике ВАСХ-НИЛ и Россельхозакадемии и методике ВНИИЗ и ЗПЭ и УкрНИИЗ ПЭ.

9. Математическую обработку экспериментальных данных проводили методами корреляционного и дисперсионного анализа по Е.А. Дмитриеву

(1972) и Б.А. Доспехову (1985) и компьютерных программ Word и Excel. Часть расчетов выполнена с помощью универсального статистического пакета Agros.

10. Построение цифровых агрохимических карт полей выполнялось с использованием компьютерных программ: AutoCad, ArcView и Surfer.

11. При построении трехмерной модели местности были использованы результаты инструментальной съемки микрорельефа полученные при помощи электронного тахеометра ELTA R50 с привлечением компьютерной программы Surfer 10.0.

2.5. Схемы опытов

Базовым опытом для определения эффективности минеральных и органических удобрений на различных элементах рельефа послужил стационарный опыт (рисунок 2).



Рисунок 2– Схема размещения участков комплексного наблюдения за биосферными процессами в условиях экологической полосы

Стационарный сертифицированный опыт расположен в «Экспериментальном хозяйстве» ГНУ НИИСХ Юго-Востока на склоне южной экспозиции крутизной 3-7°. Почва чернозем южный малогумусный маломощный легкоглинистый слабо- и среднесмытый на делювиальных отложениях [200].

Опытный агроценоз представлен двумя звеньями шестипольных полевых севооборотов (зернотравяной и зернопаровой) с чередованием культур – 1 севооборот: 3 года многолетние травы, 3 года яровая пшеница; 2 севооборот: пар, озимая пшеница, яровая пшеница, просо, 2 года яровая пшеница.

Все агротехнические мероприятия проводились согласно системе зональных общепринятых технологий возделывания культур на склонах.

Для оптимизации процесса питания под все возделываемые культуры, согласно схеме опыта (таблица 2) применяли следующие удобрения: азотные в дозах Naa34-68-102 и солома в дозах 1т+Naa10 и 2т + Naa20.

Таблица 2 – Схема опыта в стационарном опыте с севооборотами

Схема опыта под зернопаровой севооборот	Схема опыта под зернотравяной севооборот
Трансэлювиальная фация	
1.Контроль без удобрений	1.Контроль без удобрений
2.Naa34	2.Naa34
3. Naa68	3. Naa68
4.Naa102	4.Naa102
5. Солома 1т+Naa10	5. Солома 1т+Naa10
6. Солома 2т +Naa20	6. Солома 2т +Naa20
Трансаккумулятивная фация	
1.Контроль без удобрений	1.Контроль без удобрений
2.Naa34	2.Naa34
3. Naa68	3. Naa68
4.Naa102	4.Naa102
5. Солома 1т+Naa10	5. Солома 1т+Naa10
6. Солома 2т +Naa20	6. Солома 2т +Naa20

На участках с многолетними травами использовалась травосмесь: костер безостый + люцерна синегибридная. Норма высева травосмеси многолетних трав 13-17 кг/га. Посев трав производился под покров яровой пшеницы. Наряду с травами в севооборотах возделывались озимая пшеница сорта Губерния, яровая пшеница сорта Воевода, Саратовская 70 и просо Саратовская 10.

Солому, независимо от вида севооборота вносили осенью при проведении основной обработки почвы, а минеральные удобрения – весной под озимую пшеницу в весеннюю подкормку, под яровую пшеницу и просо весной

под предпосевную культивацию, а под многолетние травы перед началом их отрастания.

Делянки с удобрениями расположены в один ярус. В первом повторении размещение делянок последовательное, а в последующих – рендомизированное.

Для определения влияния различных элементов рельефа и уровня содержания в почве гумуса на эффективность удобрений в различных географических условиях (т.п. №2, 6, 9) были заложены краткосрочные опыты с азотным и комплексным удобрением по следующей схеме: аммиачная селитра Naa34-68-102 и азофоска 32 кг. д.в. на 1 га (таблица 3).

Таблица 3 – Схема опыта по определению взаимосвязи урожайности озимой пшеницы с уровнями содержания гумуса в почве

Чернозем обыкновенный (ООО «ТВС-АГРО»), уровни содержания гумуса	Чернозем южный (каштановая зона КФХ «Сарсенбаев Г.Т.»), уровни содержания гумуса
2,5	2,5
3,0	3,0
3,5	3,5
4,0	4,0
4,5	4,5
5,0	
5,5	
6,5	
7,0	

На всех опытах различные дозы удобрений вносили на строго отведенных делянках. Расположение делянок в опыте рендомизированное.

В опытах проводились наблюдения за динамикой питательных элементов, урожайностью и качеством озимой пшеницы.

Таким образом, набор сопутствующих наблюдений и разработанная схема опытов, а также исследования в различных географических условиях Саратовской области дают возможность получить данные эффективности удобрений на различных элементах рельефа, а также уровни взаимосвязи урожайности озимой и яровой пшеницы с содержанием гумуса в почве.

Глава 3. Основные экологические факторы формирования почвенно-агрохимических показателей в агроландшафте

3.1. Эрозионные процессы в период весеннего снеготаяния

В процессе снеготаяния и выпадения ливневых осадков на поверхности поля в условиях выраженного по рельефу агроландшафта формируются временные потоки воды, которые смывают почвенный покров, при этом растворяют в себе питательные элементы из почвы и вместе с мелкоземом почвы распределяют их по фациям склона или выносят за пределы поля в гидрографическую сеть [203,105,72,113].

Особенности формирования стока талых вод на склонах различных экспозиций влияют на количественные потери питательных веществ и формирование интразональных зон обеспеченности почв агрохимическими показателями.

В ходе математической обработки на склонах северных экспозиций установлена тесная и прямая корреляционная зависимости между величиной смываемой в период стока почвы и стоком талых вод. Было установлено, чем выше величина стока талых вод, тем больше терялось питательных веществ из почвы. Коэффициент корреляции при математической обработке составил $r = 0,76 \pm 0,17$, который характеризуется уравнением регрессии $Y = 1,708 + 3,174x$. Тесной взаимосвязи на южном склоне и в целом по водосбору между количеством смываемой почвы и величиной стока не установлено.

В период весеннего стока талых вод потери почвы, как правило, пропорциональны объему стока. Однако прямой закономерности между потерей мелкозема и стоком на водосборе не обнаружено.

Потери агрохимических элементов питания можно разделить на две группы. Потери валовых форм, которые смываются с твердым стоком, и потери подвижных форм с жидким стоком (водорастворимые). Водораствори-

мые (подвижные) формы элементов питания являются основными источниками питания растений, валовые являются резервом этих элементов. Потери валовых форм обусловлены, прежде всего, величиной смыва почвы (таблица 4).

Таблица 4 – Среднегодовые потери агрохимических элементов с твердым стоком на различных экспозициях склона, 3-5° (Данные предоставлены отделом «Экология агроландшафтов» ГНУ НИИСХ Юго-Востока за 1973–1995 гг.)

Экспозиция	Сток, мм	Смыв, т/га	Потери валовых форм с твердым стоком, кг/га					
			гумус	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Северная	9,1	4,2	141	0,84	1,18	8,8	15,5	9,2
Южная	13,2	6,2	189	1,05	1,74	13,0	22,9	13,6
В среднем	11,1	5,2	165	0,95	1,46	10,9	19,2	11,4

В результате процессов эрозионной деятельности на склонах водосбора (северной и южной экспозиции 3-5°) величина среднесуточных потерь от смыва почвы составила 5,3 т/га. Ежегодные потери с почвой в валовой форме составляют: азота 0,96, фосфора 1,44, калия 10,8, кальция 19,3, магния 11,5 кг/га. Потери агрохимических показателей в валовой форме располагаются в следующем порядке: Ca, Mg, K, P, N. По обобщенным данным за 24 года склоны водосбора потеряли с одного гектара 262,3 кг магния, 252,3 кг калия, 441,7 кальция, 33,7 кг, фосфора, 119,7 т почвы, 378,4 кг гумуса и 21,8 кг азота.

Вместе с мелкоземом и в виде суспензии с жидким стоком почва теряет определенное количество гумуса и питательных элементов (таблица 5).

Таблица 5 – Вынос биогенных веществ с эрозионными стоками, кг/га (Данные предоставлены отделом «Экология агроландшафтов» ГНУ НИИСХ Юго-Востока)

Вид потерь	Гумус	N	P	K
	Валовых форм			
С твердым стоком	111	15	13	196
	Воднорастворимых форм			
С жидким стоком	20,5	2,8	0,2	0,9
Суммарные потери	131,5	17,8	13,2	197,5

Склон южной экспозиции в результате водной эрозии терял ежегодно на 2,1 т/га почвы больше, чем склон северной экспозиции.

Экспозиция склона не оказала существенного влияния на относительное содержание в почве валовых форм агрохимических показателей (калия, фосфора, магния и кальция). Содержание этих питательных элементов в почве, без применения мелиорантов и удобрений, как правило, определяется генезисом почвы. Поэтому основной объем их миграции обусловлен абсолютными потерями почвы. Вследствие этого почва южного склона теряла основных элементов питания (фосфора, калия, кальция, магния) на 32,3% больше, чем северного.

3.2. Потери и поступление биогенных веществ в почву с дождевыми осадками

Считается, что в зоне черноземных почв преобладающей является водная эрозия, которая вызвана весенним стоком талых вод [174,175,90,91,105,143,86]. Тенденция изменения климата в регионе проявляется в увеличении числа засух сильной интенсивности и значительном потеплении зим. Вероятность выпадения осадков ливневого характера возрастает в годы засух, а значит, возрастает и опасность развития ливневой эрозии [97]. Потенциальная угроза развития эрозии в летний период зависит, прежде всего, от поверхности поля, растительного покрова и деятельности человека, а так же суммы выпавших осадков.

Очаги эрозии формируются от осадков ливневого характера, образуя при этом поверхностный сток, что приводит к большим потерям питательных веществ, а небольшие летние осадки в основном поглощаются почвой.

Вследствие высокой водопроницаемости черноземных почв и их низкой влажности летом, ливневой сток могут вызвать только ливни большой продолжительности и интенсивности [86].

При увеличенном растительном покрове при обильных осадках снижается темп эрозионной деятельности [226,143,84,85,86]. По данным зарубежных ученых в летний период эрозия и сток на пастбищах с залесенной местностью или хорошим травостоем невелики, часто не более 5,0% и 1,0%, соответственно по сравнению с эрозией и стоком почвы лишенной растительного покрова [223].

Посевы кукурузы и озимой пшеницы, находящиеся в фазе трех листьев, и чистый пар, обладая небольшой водопроницаемостью, формируют большой сток при дождевании [223,113].

В условиях Поволжья на черноземных почвах при сумме осадков более 40 мм и интенсивности дождя 0,5 мм/мин, на озимых и парах возникает сток порядка 5 и 10 мм. При этом почвенный покров на склонах бывает смыт на глубину до 10 см, а у подножия склона аккумулируется большой конус мелкозема толщиной до 50 см.

По данным метеостанции «Саратов Юго-Восток» выявлена цикличность в виде двух полных 12 летних цикла с количественным повышением ливнеопасных дней. Наиболее выраженные циклы наблюдались в 1936-1948 гг. и 1964-1976 гг. Третий цикл берет начало с 1990 год, и который продолжается по настоящее время. [113,96]. За период наблюдений с 1973 по 2013 год в районе проведения опытов, выпало 39 осадков с ливневым характером, из которых 19 с дальнейшим возникновением стока и эрозионного процесса почвенного покрова [164].

За период систематических наблюдений в 1972, 1979, 1988, 1992, 1995,2004,2011,2012 гг. по данным метеостанции «Саратов Юго-Восток» ливневых осадков с дальнейшим проявлением эрозионных процессов не наблюдалось. Наиболее опасные по отношению к проявлению эрозии ливни наблюдались в следующие сроки: в июле 1974, августе 1976, июне 1984, 1985, 1987,2013 гг. с суммой осадков соответственно 67, 66, 18, 91, 27 мм и интенсивностью дождя 0,6-1,2 мм/мин.

При этом проявление эрозионных процессов на посевах ранних яровых и озимых культур не наблюдалось. На пахотных землях с увеличением густоты стояния растительного покрова уменьшаются размеры эрозионной деятельности [228]. Скорость развития эрозионных процессов при возделывании пропашных культур, когда они чистые от растительных остатков и сорняков выше, чем при возделывании зерновых культур [234].

Активность проявления эрозии можно разделить на временные периоды. Первый, менее активный период проявления эрозионной деятельности от ливней с 1973 по 1984 гг., потери в среднем на 1 га севооборотной площади из расчета на 6-польный зернопаровой севооборот составили 3,5 т/га (таблица 6).

Таблица 6 – Мониторинг потерь валовых форм питательных элементов в процессе проявления ливневой эрозии (1973 – 2013гг., данные предоставлены лабораторией «Агроландшафтов и ГИС» ГНУ НИИСХ Юго-Востока)

Временные периоды	Потери почвы, т/га		Потери элементов плодородия почвы, кг/га			
	всего	на 1 га севооборотной площади	гумуса	N	P	K
1973-1984 (12 лет)	$\frac{17,3^*}{3,5^{**}}$	0,58	$\frac{51,9}{105}$	$\frac{26,3}{5,3}$	$\frac{22,1}{3,5}$	$\frac{33,2}{6,7}$
1985-1995 (11 лет)	$\frac{42,0^*}{4,7^{**}}$	0,78	$\frac{126}{141}$	$\frac{63,8}{7,1}$	$\frac{53,8}{6,0}$	$\frac{80,6}{9,0}$
(1996-2005) (10 лет)	$\frac{53,8^*}{6,0^{**}}$	1,0	$\frac{161,4}{180}$	$\frac{81,8}{9,1}$	$\frac{68,9}{7,7}$	$\frac{103,3}{11,5}$
2006-2013 (9 лет)	$\frac{38,4^*}{4,8^{**}}$	0,8	$\frac{115,2}{144}$	$\frac{58,4}{7,3}$	$\frac{49,2}{6,1}$	$\frac{73,7}{9,2}$
Итого за 40 лет	$\frac{151,5^*}{4,7^{**}}$	0,78	$\frac{454,5}{142}$	$\frac{230}{7,2}$	$\frac{194}{5,8}$	$\frac{290,8}{9,1}$

Примечание: * - числитель – всего; знаменатель – в среднем за год

Вместе с твердым стоком почвы за пределы поля мигрировали элементы как потенциального, так и эффективного плодородия. Проведенный расчет потерь агрохимических показателей с твердым стоком в период проявления ливневой эрозии выявил их определенную временную закономерность.

Для расчетов потерь агрохимических показателей были приняты усредненные за время проведения наблюдений показатели содержания в почве гумуса (3%), валовых форм; азота (0,152%), фосфора (0,128%) и калия (1,92%).

На первом этапе наблюдений (1973-1984 гг.) в среднем за год потери питательных элементов из расчета на 1 га севооборотной площади соответственно составили: гумуса 105 кг, азота 5,3, фосфора 3,5, калия 6,7 кг/га.

На втором этапе наблюдений (1985-1995 гг.) ежегодные потери увеличились, гумуса на 34,3%, общего азота 34%, фосфора на 71%, калия на 34,3%. Выявленная временная интенсификация потерь элементов плодородия почв в процессе ливневой эрозии сохранилась во все последующие периоды наблюдений.

В среднем за 40 лет ежегодные потери почвы от ливневой эрозии составили 4,7 т/га. При этом суммарные потери элементов плодородия с твердым стоком составили, 290,8 кг калия, 194 кг фосфора, 230 кг азота и 454,5 кг/га гумуса. Около 7,0% на многолетних травах, 22,0% –на пропашных и более 70% всех потерь наблюдались на паровых полях, и в год посева и на поздних яровых.

Одной из основных причин временного роста потерь почвы и питательных элементов – это, прежде всего, интенсификация сельскохозяйственного использования почвы, а также прекращение внесения органических удобрений и вывода многолетних трав из полевых севооборотов, что отрицательно отразилось на противозерозионной устойчивости почв.

В течение всего года выпадают атмосферные осадки различной интенсивности. Наблюдения показали, что в среднем за 24 года наблюдалось 120 осадков с объемом дождя > 5 мм.

Атмосферные осадки – основа почвенного раствора, без которого почва не может выполнять своих жизненно необходимых функций. Выпавшие осадки растворяют минеральные вещества в почве и за счет объема посту-

пающих осадков, происходит регулирование концентрации почвенного раствора [78,121].

Частичное пополнение потерь питательных веществ из почвы в процессе эрозии происходит за счет поступления в почву вместе с дождевыми осадками питательных элементов.

Длительный мониторинг за качественным составом атмосферных осадков в стационарном опыте (1989-2013 гг.) выявил заметные колебания в объеме поступления их на почву (таблица 7).

Таблица 7 – Среднегодовое поступление с атмосферными осадками химических ингредиентов в почву, кг/га (1989-2013 гг., данные предоставлены лабораторией «Агрометеорологии» ГНУ НИИСХ Юго-Востока)

Годы	Осадки, мм	Кол-во дней с осадками > 5 мм	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
1989-94	541	30	8,2	3,2	21,6	18,5	14,6
1995-99	428	26	5,4	0,8	7,1	24	12,2
2000-2004	594	34	6,5	0,6	5,3	26,8	6,6
2005-2008	494	32	8,8	0,6	7,3	22,8	10,2
2009-2013	479	30	7,4	0,9	6,4	24,5	8,1
В среднем за год	507	31	7,3	1,2	9,5	23,3	10,4

Качество и количество выпавших осадков играют большую роль в формировании, как продуктивности возделываемых культур, так и плодородия почвы.

Сформированная водно-воздушно-пылевая смесь, периодически поступающая на почву в виде атмосферных осадков, может оказывать как положительное, так и негативное влияние на концентрацию и состав почвенного раствора. Состав атмосферной смеси влияет на продуктивность сельскохозяйственных культур и почвенную экологию в целом [118].

В среднем за 24 года с жидкими осадками в виде дождей на поверхность почвы поступило 36,3 кг/га минерального азота, 6,1 кг фосфора, 48 кг калия, 117 кг кальция и 52 кг магния. Максимальная концентрация питательных элементов в дождевых осадках отмечалась на первом этапе наблюдений

(1889-1994 гг.). В последующем содержание азота, фосфора, калия и других элементов в жидких осадках постепенно уменьшалось. По-видимому, это обусловлено снижением обеспеченности почвы питательными элементами и сокращением выбросов промышленными предприятиями.

Таким образом, на формирование депо питательных элементов в почве определенное влияние оказывают активность эрозионных процессов, а также уровень плодородия почв и загрязнения атмосферных осадков. Количество химических компонентов в атмосферных осадках регулируется, прежде всего, ветровой эрозией и промышленными выбросами. Поступление в почву с атмосферными осадками элементов питания для растений не компенсирует потери почвы и элементов питания с эрозионными процессами.

3.3. Влияние рельефа на внутрипочвенное перераспределение почвенно-агрохимических показателей в агроландшафте

Под влиянием глобального изменения климата в зимний период формируются более высокие запасы снега, а частые зимние оттепели способствуют быстрому устранению промерзшего слоя почвы. К началу снеготаяния в современных условиях почва готова к пропуску снеговой воды вглубь почвы [137].

Аккумуляированные почвой в период снеготаяния зимние осадки под действием физических законов (всемирного тяготения) перемещаются как вглубь почвы, так и по склонам в сторону гидрографической сети от водораздельной до аккумулятивной фации агроландшафта. В настоящее время 70-80% запасов снеговой воды усваиваются почвенной системой. Перемещаясь по профилю почвы в вертикальном и горизонтальном направлениях, атмосферные осадки насыщаются за счет выщелачивания из почвы различными химическими ингредиентами [137].

Распределение влаги и содержащихся в ней питательных элементов подчиняется, прежде всего, крутизне склона, а также особенностям гранулометрического состава почвы [137].

Потери питательных элементов образованных в процессе минерализации гумуса и миграции продуктов минерализации (нитратного азота, подвижных форм фосфора и калия) со снеговой водой проникают вглубь почвы, эта одна из основных причин снижения гумуса в почве и деградации почвенного покрова. Темпы потерь питательных элементов определяются как объемом миграции в почву снеговой воды, так и геоморфологическими условиями участка, его гранулометрическим составом. Особенно высокой миграционной способностью отличается нитратный азот.

Проведенный систематический в течение года фациальный анализ состояния запасов нитратного азота в 1,5м слое почвы на положительных и отрицательных элементах рельефа выявил определенные особенности их накопления и трансформации в почвенном профиле (таблица. 8, рисунок. 3, приложение 4).

Таблица 8 – Вертикальная и горизонтальная миграция питательных элементов в почве на повышенных формах рельефа (2011-2013 гг., т.п №5 – чернозем южный)

Глубина, см	Начало снеготаяния				Конец снеготаяния				Через 3 месяца после снеготаяния			
	Влага, мм	NO ₃ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	Влага, мм	NO ₃ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	Влага, мм	NO ₃ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
0-20	84	12,2	73,7	591,7	77	6,7	82,7	543	17	12	86,6	475
20-50	52	23,4	96,0	699,8	74	12,1	87,3	638	14	12	88,2	503
50-100	39	16,5	26,6	733,1	81	18,6	41,2	618	21	22	23,8	460
100-150	43	10,3	37,0	685,0	54	12,3	45,4	512	47	18	31,3	368
Среднее	54,5	15,6	58,3	677	71	12,4	64,5	578	24,7	16	57	471

Запасы питательных элементов 1,5м слоя почвы в зависимости от наступления процесса снеготаяния определялись: 1-й срок перед началом снеготаяния (11 марта), 2-й срок после окончания процесса снеготаяния (5 апре-

ля), 3-й срок через 1 месяц после окончания процесса снеготаяния (6 мая), 4-й срок – 5 июня, 5-й срок – 19 июля.

Питательные элементы, находящиеся в почве в зависимости от их химической природы находятся под постоянным давлением передвижения влаги в почве.

Наиболее активно агрохимические элементы мигрируют в периоды активного поступления влаги в почву. Наряду с фактором влаги на уровень содержания нитратного азота в почве большое влияние оказывают рельеф территории и времена года.

За точку отчета мониторинга агрохимических показателей в почве, было принято их содержание в 1,5 м слое почвы перед началом снеготаяния.

В начале периода снеготаяния основные запасы нитратов и свободной влаги в 1,5 м слое почвы водораздельной фации были сосредоточены в слое 10-60 см и составили соответственно 61% и 50% от их запасов 1,5-метрового слоя почвы. Дополнительное поступление снеговой воды в почву в период снеготаяния привели к перераспределению нитратов по профилю почвы.

К концу периода снеготаяния запасы свободной влаги в 1,5-метровом слое увеличилось на 30,3%, а нитратов – на 20,5%. Если максимальное содержание нитратов перед началом снеготаяния определялось в слое 20-100 см, то после окончания снеготаяния в слоях 50-150 см.

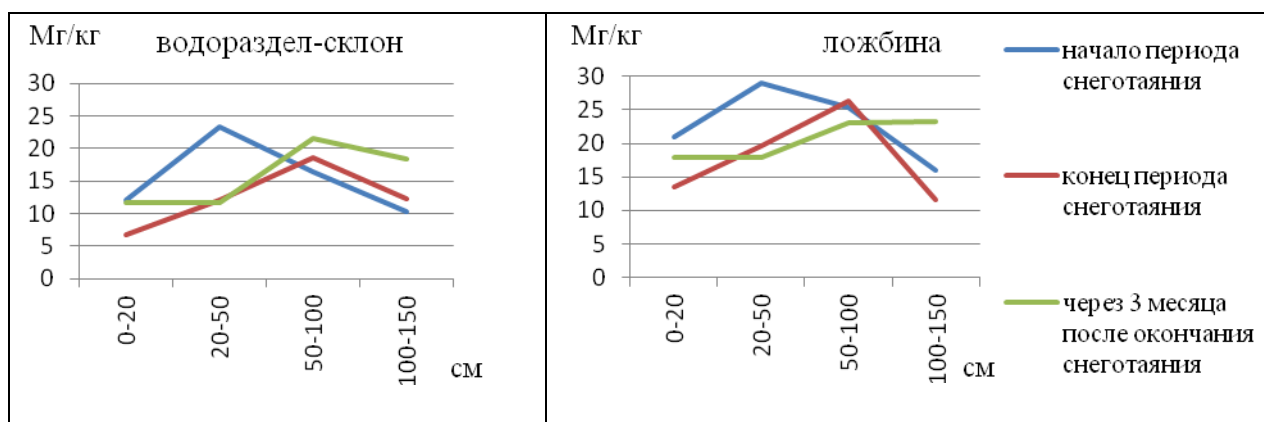


Рисунок 3 – Миграция нитратов во времени по профилю почвы на различных элементах рельефа 2011-2013 гг., т.п №5 – чернозем южный

Через месяц (5 июня), в результате продолжающегося движения свободной влаги вниз по профилю почвы ее количество по сравнению с 2 сроком (конец снеготаяния) уменьшилось на 43,3 мм или на 61%. Однако количество нитратов в среднем по 1,5 м слою почвы увеличилось всего лишь на 3,6 мг/кг или на 26%.

Распределение нитратов по почвенным горизонтам указывает на продолжающуюся их миграцию в глубь почвы и, по-видимому, за пределы 1,5 м слоя почвы в грунтовые воды.

Активное перемещение влаги в период снеготаяния и последующего ее перемещения по профилю почвы и содержащих в ней нитратов не позволило выявить устойчивого коэффициента корреляции между ними.

Склон оказал заметное влияние на закономерность горизонтального и вертикального перемещения влаги и нитратов в 1,5 м слое почвы (таблица 9).

В начале периода снеготаяния наибольшее содержание нитратов наблюдалось на средней фации, наименьшее содержание на верхней фации склона. Среднее положение по содержанию нитратов занимает нижняя часть склона и составляет 62,3 мг/кг. Основное содержание нитратного азота на средней фации склона наблюдалось в слое 0-60 см и составляло 69% от запасов азота 1,5-метрового слоя.

Таблица 9 – Матрица корреляционной зависимости между запасами свободной влаги в почве и содержанием в ней нитратного азота (2011-2013 гг., т.п №5 – чернозем южный)

Дата	Водо-раздел	Склон северной экспозиции (ССЭ)			Ложбина			Среднее
		верх	середина	низ	верх	середина	низ	
I	-0,24	-0,39	-0,27	0,09	0,19	0,25	-0,16	-0,07
II	0,06	-0,07	0,9	-0,97	0,97	0,6	0,37	0,27
III	-0,25	-0,86	-0,95	-0,67	0,8	-0,04	-0,42	-0,34
Среднее	-0,14	-0,18	-0,1	-0,51	0,65	0,27	-0,07	

Примечание: I – начало снеготаяния, II – конец снеготаяния, III – через 3 месяца после снеготаяния

В верхней части склона азот накапливался в слое 30-50 см и составлял 49% от запасов 1,5-метрового слоя почвы. В нижней части склона основное

содержание азота наблюдалось в слое 0-60 см и составляло 69% от запасов 1,5-метрового слоя. В начале периода снеготаяния практически не выявлено устойчивой связи между свободной влагой и содержанием в ней нитратов.

В конце периода снеготаяния, за счет миграции с почвенной влаги в нижней и верхней частях склона, отмечается снижение содержания азота соответственно на 37 и 8%, а в средней части, соответственно, увеличение на 9%.

При этом прямой коэффициент корреляции между нитратным азотом и запасами влаги в 1,5 м слое почвы выявлен на средней части склона ($r=0,9$) и отрицательный ($r=-0,97$) – на нижней части склона, что указывает на активное накопление нитратов в результате внутрпочвенного перемещение свободной влаги вниз по склону.

В первой декаде июня, по сравнению с майскими запасами, наблюдалось переформирование содержания нитратов, как по слоям почвенного профиля, так и по длине (фациям) склона. Так, в слое 50-150 см нижней фации склона количество нитратов увеличилось на 15%, а в слое 0-50 снизились на 19%.

На верхней части склона увеличение содержания азота на 29% произошло в слое 70-150 см, а в слое 0-60 см произошло снижение на 35%. Это – результат перемещения свободной влаги и нитратов в более глубокие слои почвы. Процесс перемещения отмечается по всем фациям почвенной системы водораздел – склон.

Во второй декаде июля в 1,5м слое почвы на средней и нижней фациях склона отмечалось увеличение содержания нитратного азота в почве соответственно на 14 и 18% и снижение на верхней фации склона на 42%.

Перестройка запасов нитратов в почвенном профиле проходило сопряженно с запасами почвенной влаги.

В отрицательных формах рельефа (ложбина) наибольшее содержание нитратного азота в почвенном профиле было отмечено в нижней части ложбины – 187,9 мг/кг, наименьшее – в средней части ложбины – 60,7 мг/кг, промежуточное положение по содержанию элемента занимала верхняя часть

склона – 95,7 мг/кг. Таким же образом распределялось и количество влагозапасов в почве, с наибольшим ее содержанием (246 мм) – в нижней части ложбины, и наименьшим (227 мм) – в средней части ложбины (таблица 10).

Таблица 10 – Вертикальная миграция агрохимических показателей в почве на повышенных формах рельефа (ложбина) (2011 – 2013 гг., т.п №5, – чернозем южный)

Глубина, см	Начало периода снеготаяния				Конец периода снеготаяния				Через 3 месяца после окончания снеготаяния			
	Влага, мм	NO ₃ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	Влага, мм	NO ₃ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	Влага, мм	NO ₃ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
0-20	56	21	101	477	54	14	103	548	19	18	95	401
20-50	56	29	124	512	63	20	149	687	26	18	108	448
50-100	94	25	123	680	116	26	98	653	48	23	51	393
100-150	96	16	48	625	91	12	43	473	59	23	32	347

Наибольшая аккумуляция нитратного азота на всех частях ложбины происходила в верхнем полуметровом слое. Так, например, в нижней части ложбины в слое 0-50 см было сосредоточено лишь 19% влаги 1,5-метрового слоя. О такого рода различии свидетельствует коэффициент корреляции между запасами влаги и азота. В нижней части ложбины он был равен $r=-0,85$. Тогда как на верхней и средней частях ложбины зависимость была прямой: 0,73 и 0,58, соответственно, на верхней и средней частях ложбины.

Наибольшее содержание азота в ложбине, в начале периода снеготаяния, отмечалось, как и в предыдущий период наблюдения, в нижней части и составляло 148,6 мг/кг. Основная часть нитратного азота была сосредоточена в слое 0-60 см и составляла 68% запасов 1,5-метрового слоя почвы. Тогда как основное количество доступной влаги было сосредоточено в слое 30-110 см. Этим обусловлено отсутствие зависимости между в схожем распределении показателей и, как следствие, незначительное значение коэффициента корреляции. На верхней и средней частях ложбины содержание азота было примерно одинаковым – 59,7 и 59,8 мг/кг, соответственно, а содержание влаги на этих фациях отличалось более, чем на 40%. Нитратный азот на этих фациях был распределен по профилю практически равномерно. Выделялись лишь

слои 40-80 см верхней части ложбины (36% от запасов 1,5-метрового слоя) и 0-30 см средней части ложбины (42% от запасов 1,5-метрового слоя). Тогда как влага аккумулировалась, преимущественно в слое 0-50 см. В связи с этим и наблюдается самое низкое значение коэффициента корреляции на всех частях ложбины.

В конце периода снеготаяния содержание азота снизилось на всем протяжении ложбины. На верхней части ложбины на 14%, в средней части ложбины на 34% и на 11% в нижней части ложбины. Количество доступной влаги, тем временем, увеличилось на всех частях ложбины. Увеличение запасов азота произошло лишь в некоторых частях 1,5-метрового слоя. На верхней части ложбины в слое 110-150 см запасы азота увеличились на 20%, в средней части в слое 30-70 см запасы возросли на 14% и на нижней части ложбины в слое 50-110 см на 21%. Таким образом, по сравнению с началом периода снеготаяния, нитратный азот перемещался вниз по профилю. Что объясняется насыщением почвенных пор верхних слоев профиля талой водой, отчего влага перемещается в нижележащие слои, вместе с содержащимся в ней азотом. На верхней части ложбины в этот период отмечается максимальный коэффициент корреляции ($r=0,97$) между содержанием азота и влаги.

Через месяц после схода снега содержание азота возросло на верхней и средней частях ложбины на 43 и 38%, соответственно. В нижней части склона запасы азота снизились на 12%. Влагозапасы снизились на всех частях ложбины, но наибольшим образом на нижней части (на 41%). На верхней и средней частях ложбины содержание азота увеличилось во всех слоях, и его распределение по профилю было равномерным. Заметное увеличение азота наблюдалось лишь в слое 100-150 см средней части ложбины и составляло 68%. В нижней части ложбины, на фоне уменьшения запасов азота в среднем по 1,5-метровому профилю почвы, в слое 90-150 см наблюдалось небольшое увеличение содержания азота (на 6%). Что объясняется тем же процессом, который происходил в конце периода снеготаяния, когда в оттаявшей почве

увеличивалась влагопроницаемость и влага мигрирует вниз по профилю вместе с содержащимся в ней азотом.

К первой декаде июня миграция азота и влагозапасов на различных элементах рельефа происходила различно. На верхней части ложбины содержание азота в 1,5-метровом профиле увеличилось на 22%, а количество влагозапасов снизилось на 36%. Особенно запасы азота увеличились в слое 0-30 см (на 4%), на фоне снижения влагозапасов. Рост содержания азота при таких условиях можно объяснить повышением температуры воздуха и почвы. В нижней части ложбины содержание азота и влаги продолжало падать. В 1,5-метровом профиле содержание азота снизилось на 42%, что является наибольшим снижением с начала периода снеготаяния. Количество влаги снизилось на 25%. В средней части ложбины запасы азота практически не изменились. Их количество слегка возросло (на 14%) в слое 0-70 см и немного снизилось (на 19%) в слое 70-150 см. Содержание влаги на средней части ложбины так же, как и содержание азота практически не изменилось (менее чем на 5%). Именно поэтому значение коэффициента корреляции в этот период на средней части ложбины, максимально ($r=0,9$).

Во второй декаде июля содержание нитратов увеличилось на средней и нижней частях ложбины, соответственно, на 52 и 20%, а на верхней части снизилось на 40 %. Количество влаги возросло только в средней части ложбины (на 15 %). На верхней и нижней части количество влагозапасов снизилось на 36 и 37 %, соответственно. В средней части ложбины рост содержания нитратов в почве отмечался в слое 0-80 см (на 60%), а влагозапасы в этом слое возросли на 25%. В нижней части склона запасы азота в 1,5-метровом профиле возросли за счет увеличения их в слое 0-10 см на 74 %. На верхней части склона снижение содержания нитратного азота произошло во всем 1,5-метровом профиле, и особенно заметно в слое 0-40 см, на 36 %. Снижение влагозапасов в этом слое произошло на 69 %. В связи с этим коэффициент корреляции на верхней части склона был высоким ($r=0,8$). При этом в ложбинах за счет концентрации больших запасов свободной снеговой влаги и рас-

творенных в ней нитратов возникает опасность миграции нитратов в гидрографическую сеть и вглубь вплоть до грунтовых вод.

В отличие от нитратов динамика изменения подвижного фосфора в 1,5 м слое почвы менее выражена и не отличалась четкой закономерностью (таблица 10, рисунок 4, приложение 5).

На повышенных формах рельефа (водораздел+склон) максимальное (85 мг/кг) содержание в почве подвижного фосфора в 1,5 слое почвы перед началом процесса снеготаяния отмечалось в слое 0-50 см. В более глубоких слоях 50-150 см его содержание было на 45% ниже, чем в слое 0-50см. После окончания стока содержание фосфора в 1,5 м слое увеличилось всего лишь на 3,6%. В дальнейшем (июнь) содержание фосфора в среднем по профилю почвы уменьшилось на 7,5 мг/кг или 4,8%.

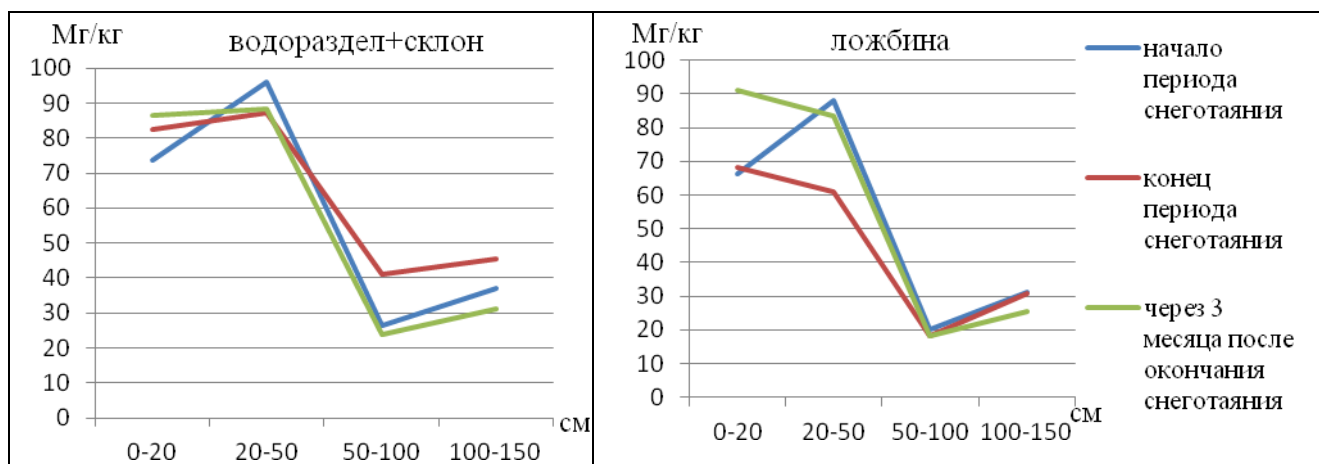


Рисунок 4 – Динамика содержания подвижного фосфора в почве (2011-2013 гг., т.п №5 – чернозем южный)

Доказуемой вертикальной миграции калия по профилю почвы не обнаружено. Средний коэффициент корреляции ($r=0,6$) был обнаружен перед началом снеготаяния на водоразделе и нижней части склона. По завершению процесса снеготаяния значимого коэффициента корреляции между свободной влагой и содержанием в почве фосфора не обнаружено. По мере нарастания температуры и сухости в почве (июнь-июль), когда основная масса свободной влаги мигрировала за пределы почвенного профиля в грунтовые

воды и гидрографическую сеть, коэффициент корреляции стабилизировался и повсеместно был отрицательный, на уровне среднего значения (таблица 11).

Таблица 11 – Матрица коэффициентов связей содержания фосфора и свободной воды в почве (2011-2013 гг., т.п №5 – чернозем южный)

Периоды наблюдений	Водо-раздел	Склон северной экспозиции (ССЭ)			Ложбина			Среднее
		верх	середина	низ	верх	середина	низ	
I	0,62	0,33	0,05	0,61	-0,99	-0,25	0,9	0,18
II	0,14	0,08	-0,85	-0,68	-0,24	-0,61	0,02	-0,31
III	-0,52	-0,58	-0,91	-0,52	-0,9	-0,38	-0,95	-0,68
В сред.	0,08	-0,05	-0,57	-0,19	-0,71	-0,41	-0,01	

Примечание: I – начало снеготаяния, II – конец снеготаяния, III – через 3 месяца после снеготаяния

В отрицательных формах рельефа выявлено более высокое содержание в почве фосфора, чем на положительных формах рельефа. Смыв более крупных частиц гранулометрического состава и аккумуляция их в ложбину привело к увеличению содержания фосфора по сравнению с почвой на положительных формах рельефа, в среднем по 1,5 м слою почвы на 29 мг/кг или на 17%. Профильный анализ почвы показал, что закономерность распределения подвижного фосфора мало отличается от закономерности, выявленной на положительных формах рельефа.

Высокая обеспеченность подвижным калием почвы сглаживала колебания содержания его в почве (таблица 12, рисунок 5, приложение 6).

Наблюдения, как за вертикальной, так и за горизонтальной миграцией калия в почве не выявило заметных закономерностей его изменения в почве.

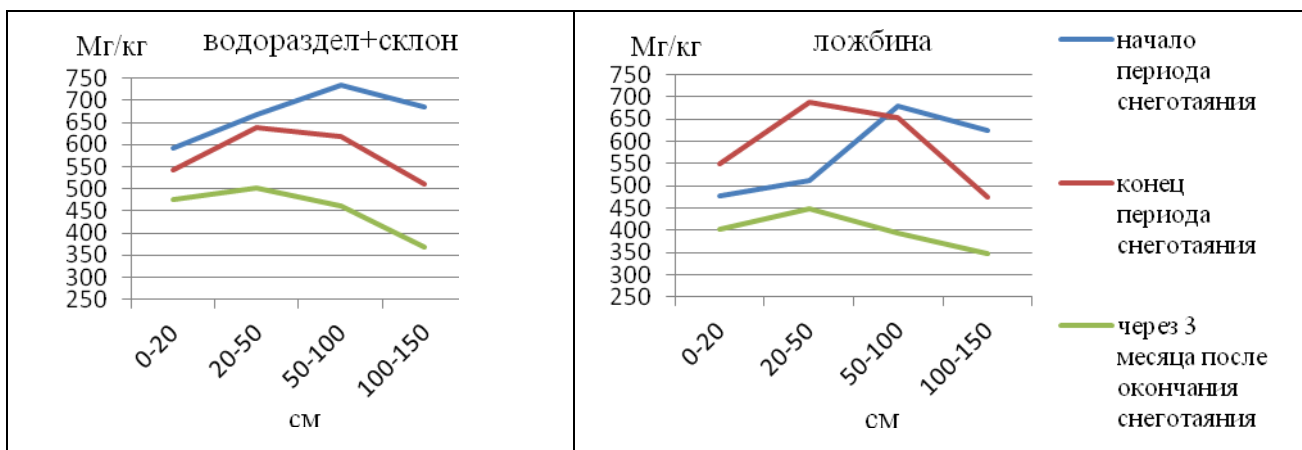


Рисунок 5 – Вертикальная миграция подвижного калия в почве (2011-2013 гг., т.п №5 – чернозем южный)

Коэффициент корреляции между свободной влагой и содержанием калия в почве был разноплановым и не подтвердил четкой закономерности.

Колебания в содержании калия в почве по разным срокам наблюдений во многом определяются его высоким исходным содержанием в почве. Поэтому зависимость содержания калия от изменения увлажнения почвы на различных элементах рельефа была маловыраженной.

Наивысшая зависимость запаса продуктивной влаги в почве и содержанием калия, наблюдалась в середине июля. Почти на всех фациях наблюдалась высокая и очень высокая обратная зависимость, за исключением нижней части ССЭ, где зависимость была прямой и очень высокой, а также верхней части ССЭ и средней части ложбины, где зависимость была слабой.

В период начала снеготаяния ориентация знака коэффициента корреляции различалась по фациям. На СЮЭ зависимость была положительной, средней – на верхней части СЮЭ и слабой в нижней части. В ложбине коэффициент корреляции был положительным и возрастал от слабой до очень сильной зависимости от верхней до нижней части.

Растворенные минеральные удобрения и извлекаемые жидким стоком из почвы химические вещества в процессе вертикального их перемещения являются основной статьей в приходной части баланса поступающих в по-

верхностные и подземные воды химических элементов и их соединений [10,13,39,107,235,238,239].

Таблица 12 – Матрица коэффициентов связей содержания калия и свободной воды в почве (2011-2013 гг., т.п №5 – чернозем южный)

Дата	Водо-раздел	Склон северной экспозиции			Ложбина			Среднее
		верх	середина	низ	верх	середина	низ	
I	-0,83	-0,66	0,99	-0,47	0,26	0,71	0,9	0,12
II	-0,1	0,14	-0,28	0,8	0,11	-0,02	0,92	0,22
III	-0,97	-0,15	-0,79	0,9	-0,99	0,26	-0,99	-0,39
Среднее	-0,63	-0,22	-0,03	0,41	-0,21	0,31	0,27	

Примечание: I – начало снеготаяния, II – конец снеготаяния, III – через 3 месяца после снеготаяния

Длительный мониторинг за состоянием грунтовых вод на стационарном опыте выявил, что грунтовые воды, в зависимости от рельефа и элементов агроландшафта залегают на глубине 190-642 см. По степени минерализации они относятся к слабоминерализованным водам. Однако концентрация солей и содержание отдельных элементов в грунтовых водах может изменяться в процессе использования ценозных структур агроландшафта (рисунок 6, приложение 7).

Выявлена связь концентрации нитратов в грунтовых водах с культурами севооборота. Максимальная концентрация нитратов в грунтовых водах выявлена на 3-4 год после парового поля.

В условиях поступления снеговой воды в глубь почвенного профиля с последующей ее вертикальной миграцией по профилю и горизонтальной – по склону за пределами 1,5 м слоя почвы и, по-видимому, приводит к частичному сбросу нитратов и других химических ингредиентов в грунтовые воды.

Наблюдения за состоянием грунтовых вод в скважине, размещенной на удобренных вариантах, подтвердили факт поступления нитратного азота удобрений в грунтовые воды.

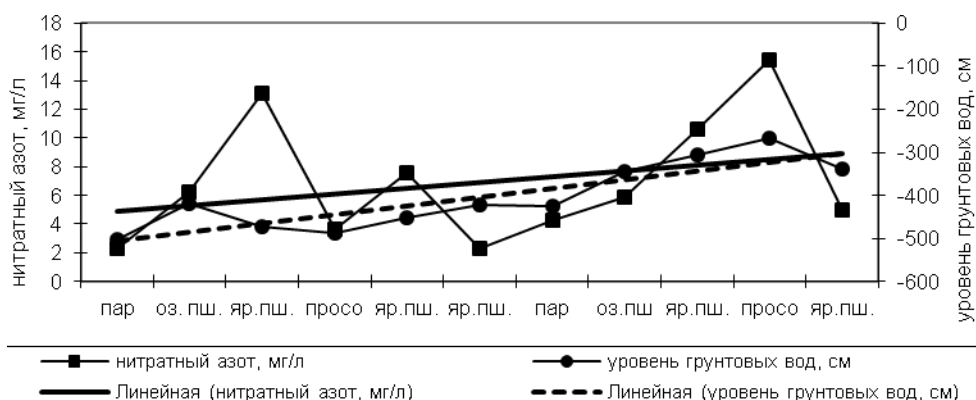


Рисунок 6 – Взаимосвязь уровня грунтовых вод и концентрации в них нитратов, мг/л (т.п.№5 – чернозем южный)

В среднем за 11 лет концентрация нитратов в грунтовых водах скважины увеличилась при внесении $N_{aa}200$ в 2,7 раза и 40 т навоза в 1,6 раза по сравнению с неудобренным вариантом.

Таким образом, основные потери элементов плодородия почв наблюдаются в период снеготаяния. По результатам длительного мониторинга потери гумуса с мелкоземом составили 220 кг/га, валовых форм азота – 15 кг, фосфора – 13 кг, калия – 196 кг/га. Вынос питательных элементов с жидким стоком по величине значительно уступал (составлял 3-4%) содержанию валовых форм в твердом стоке. Суммарные потери на гектар валовых и подвижных биогенных элементов за 37 лет составили: гумуса 4500 кг, азота 320 кг, фосфора 440 кг, калия 3480 кг, кальция 6360 кг, магния 6600 кг.

Глава 4. Внутриполевая дифференциация почвенно-агрохимических показателей в агроландшафте

4.1. Технология почвенно-агрохимического тестирования почв на тестовых полигонах

Агрохимическое обследование пашни тестовых полигонов проводилось по разработанной в отделе «Экология агроландшафтов» методической разработке (заявка № 2012143564 от 11.10.2012). Предлагаемый способ почвенно-агрохимического обследования сельскохозяйственных угодий осуществляют следующим образом. По каждому земельному участку сельскохозяйственного угодья, подлежащему агрохимическому обследованию, для составления проекта определяли координаты поворотных точек, формирующих конфигурацию обследуемого участка, по которым составляют карту обследуемого участка. На карту наносили проект профилей. В проекте профилей намечают параллельно намеченному азимуту и на расстояниях между намеченными профилями, которые изменяются в зависимости от крутизны склона. На намеченных профилях согласно геоморфологической ситуации, намечают отрезки для отбора смешанных почвенных проб. Составляют каталог координат начала, окончания намеченных профилей и отрезков на них.

Отбор смешанных проб проводят в границах запроектированных профилей по намеченному направлению (азимуту) прохождения маршрута. При этом в полевых условиях по мере изменения геоморфологических признаков поверхности участка по направлению прохождения маршрута (увеличение крутизны склона, направления склона по отношению к основному маршрутному профилю, выход почвообразующих пород) производят наложения дополнительных отрезков (профилей) в ту или иную сторону от основного маршрута для уточнения прохождения границ контуров, которые будут выделены на основе полученных данных при прохождении основного мар-

шрутного профиля. Число дополнительных профильных отрезков лимитируется напряженностью геоморфологической ситуации. Смешанные почвенные пробы отбирают равномерно по всей длине отрезков, намеченных на основном маршруте. При этом с использованием, например GPS навигатора и эклиметра, фиксируют на координатной основе начало и конец дополнительных наложенных отрезков профилей для получения уточняющих данных, полученных при прохождении основного маршрута.

После завершения отбора смешанных проб на обследуемом земельном массиве прокладывают контрольный маршрут, на котором намечают отрезки, причем направления, начало и окончания отрезков контрольного маршрута, зафиксированных навигационным оборудованием, определяют в зависимости от степени выраженности рельефа местности. С контрольного маршрута смешанные почвенные пробы отбирают равномерно по всей длине намеченных отрезков.

Смешанные почвенные пробы с основного маршрута и контрольные смешанные почвенные пробы анализируют по методикам агрохимического анализа [134]. В компьютерной программе создают карты «центров тяжести» («центр тяжести» – среднее значение координат между началом и окончанием отрезков, по которым отбираются смешанные почвенные пробы). После введения сопряженных атрибутивных почвенно-агрохимических данных, проводят их интерполяцию и формируют карту почвенно-агрохимических контуров.

Для определения достоверности выделенных пространственных границ контуров при сплошном обследовании на сформированную карту почвенно-агрохимических контуров наносят с контрольных маршрутов «центры тяжести» и их атрибутивные почвенно-агрохимические данные, проводят их интерполяцию. На основании результатов интерполяции получают значения точек, которые характеризуют место прохождения пространственных границ почвенно-агрохимических контуров, полученных в результате прохождения контрольного маршрута (рисунок 7).

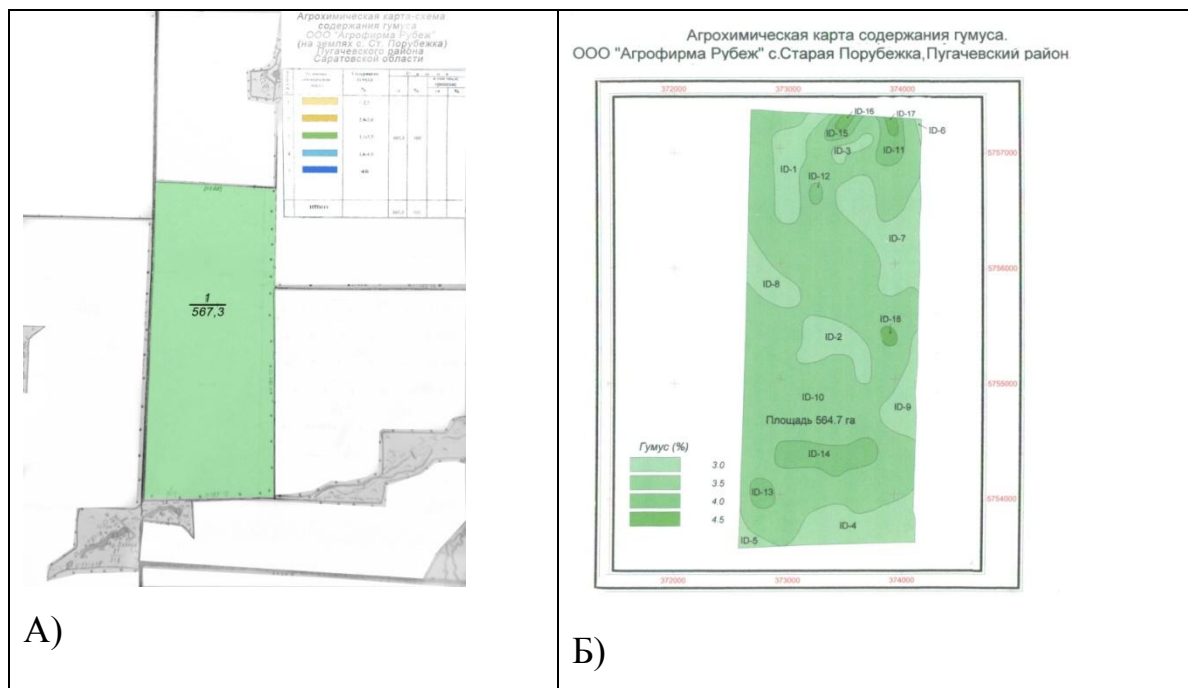


Рисунок 7 – Агрохимическая карта-схема содержания гумуса в темно-каштановой почве А) по стандартной методике Агрохимслужбы, Б) по модернизированной методике с применением ГИС.

Измеряют расстояния между точками, характеризующими место прохождения пространственных границ контура, выделенного при сплошном обследовании и точками характеризующими место прохождения пространственных границ контура, выделенного при контрольном маршруте. Линейными значениями замеров несовпадения границ при сплошном обследовании и контрольном маршруте определяют ширину коридора, которая характеризует достоверность прохождения пространственных границ почвенно-агрохимических контуров.

Частота отбора смешенных проб не лимитируется и по желанию исследователя может варьировать в широких пределах.

4.2. Контурный анализ почвенно-агрохимического состояния пашни на тестовых полигонах №2 и №6

Ландшафтная агрохимия формируются на основе типизации земель по ландшафтными элементами рельефа. Этапы построения реальной системы удобрений включают в себя: почвенно-агрохимическое картирование земель, создание банка данных максимально характеризующего состояние агробиогеоценоза, учет всех экологических и технологических ограничений.

Одним из многих факторов, принимающих активное участие в формировании уровня урожайности и его качества, является уровень плодородия почвы.

Почвы степного биома с набором черноземных и каштановых почв отличаются высокой мозаичностью почвенного покрова. Даже в рамках одного типа агроландшафта наблюдается высокая пестрота плодородия, что затрудняет возможность дать ей объективную оценку. Не привязанные на местности контуры потенциального и эффективного плодородия почв в определенной степени затрудняют выбор и оценку оптимальных системы удобрений, что в свою очередь негативно отражается на эффективности систем земледелия.

Для черноземных и каштановых почв основными показателями, определяющими уровень плодородия, являются: степень выраженности рельефа, уровень содержания гумуса, реакция почвенной среды (рН), обеспеченность минеральным азотом, фосфором и калием.

В условиях многоконтурности почвенного плодородия компьютерная технология позволяет выявить, сгруппировать и привязать на местности почвенные контуры, уровень плодородия которых требует индивидуального подхода при адаптации систем удобрения.

Длительные исследования показали, что степень различия между отдельными контурами по потенциальному и эффективному плодородию почвы, даже в рамках одного рабочего участка, могут быть столь велики, что для

них должны планироваться разные системы удобрений. Поэтому в процессе формирования управленческой информации одной из приоритетных задач в условиях многоконтурности является определение и генерализация контуров с близкими свойствами и режимами почвы и адекватной реакцией на них агроценозов.

С помощью навигационного оборудования GPS в процессе отбора образцов на поле для почвенно-агрохимического анализа происходит регистрация их на координатной основе. Затем эти данные вместе с результатами химических анализов почв транспортируются в компьютерную программу ArcView, которая формирует контуры потенциального и эффективного плодородия почв. При необходимости она же проводит генерализацию их по уровням плодородия.

Опыт, полученный в процессе разработки усовершенствованной методики почвенно-агрохимического анализа, показал на уровне определенного типа и подтипа почв связь между содержанием гумуса и отдельными питательными элементами в почве носит индивидуальный характер.

В рамках разработанной программы исследований на тестовом полигоне №2 расположенном в Аткарском районе с помощью компьютерных технологий проведено агрохимическое обследование на площади 4426 га. По каждому показателю составлены агрохимические цифровые картограммы с отображением на них контурных систем по содержанию гумуса, нитратного азота, доступных форм фосфора и калия и реакции среды.

Территория Аткарского района по геоморфологическому делению относится к району верхней поверхности денудации. В районе размещение тестового полигона большое распространение имеют овражно-балочные формы рельефа. На данной территории отмечается активное проявление эрозионных процессов. Поэтому верхние горизонты, в большинстве случаев, можно охарактеризовать, как обеднены илистой фракцией и соответственно элементами эффективного плодородия [189, 190].

В процессе проведенного почвенно-агрохимического обследования из расчета на 1000 га пашни тестового полигона №2 зафиксировано 72 различных по содержанию гумуса контура.

На тестовом полигоне №6 находящемся в Пугачевском районе были обследованы 2 территории, приуроченные к различным геоморфологическим условиям и 2 почвенным подтипам. В зоне Высокой сыртовой равнины было обследовано 1805 га. В геоморфологическом отношении территория расположена на слабоволнистой равнине, расчлененной балками, оврагами, долинами рек, почвенный покров представлен переходным между черноземными и темно-каштановыми почвами черноземом южным. Из расчета на 1000 га пашни тестового полигона №6 на черноземе южном зафиксировано 75 различных по содержанию гумуса контура.

На Нижней сыртовой равнине было обследовано 2150 га пашни. Почвенный покров представлен темно-каштановыми среднетощими глинистыми почвами. Здесь на 1000 га пашни выделено 28 различных по содержанию гумуса контура.

4.3. Дифференциация контурных систем агрохимических показателей и их вариабельность в пространстве

Почвенно-агрохимическая диагностика почвенного покрова пашни на основе применения ГИС-технологии выявила уровень обеспеченности почвы основными питательными элементами плодородия почвы, особенности формирования пестроты почвенного плодородия, а также контурную дифференциацию и внутриполевую пространственную вариацию агрохимических показателей.

Компьютерная обработка данных агрохимического обследования пашни на различных тестовых полигонах позволила сформировать систему почвенных контуров по содержанию гумуса из расчета на 1000 га пашни (таблица 13, рисунок 8, 9).

Для обработки данных почвенно-агрохимического тестирования в компьютерную программу была введена вся информационная база дифференцированной системы контуров, полученная при почвенно-агрохимическом тестировании. В процессе генерализации все выделенные контуры были рассортированы по занимаемой ими площади: <10, от 10 до 50, от 50 до 100, >100 га. Анализ данных состояния контурной системы необходим для формирования однообразных по уровню плодородия рабочих участков.

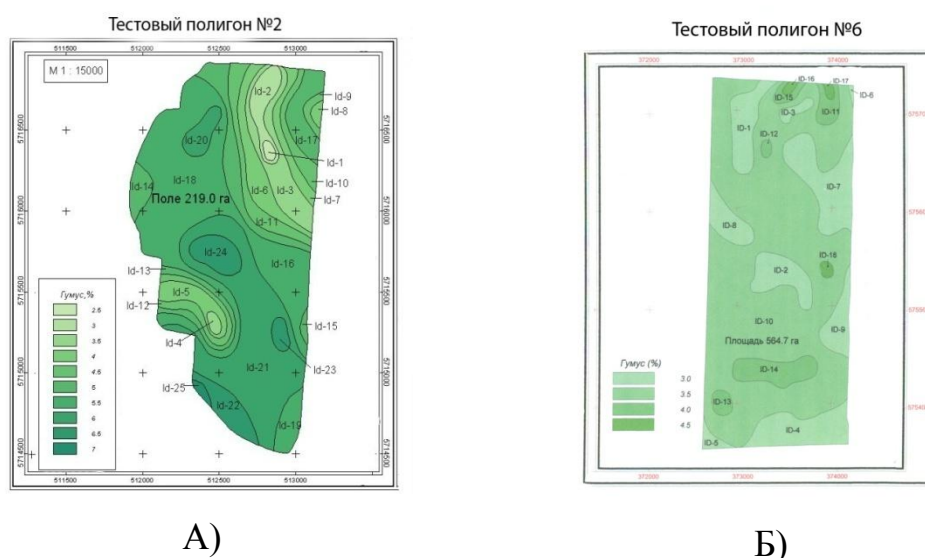


Рис. 8. Карта содержания гумуса в почве: А) чернозем обыкновенный, Б) темно-каштановая почва.

Анализ состояния контурной системы после генерализации показал, что уровень дифференциации системы контуров в основном определяется геоморфологическим состоянием поверхности анализируемого участка и, по-видимому, состоянием материнской породы.

На всех тестовых полигонах доминирующее положение по количеству в контурной системе заняли контуры с площадью <10 га. Их доля в общем количестве контуров составила 71% (рисунок 9).

На втором месте по численности контуры с площадью от 10 до 50 га. Их доля в общем количестве достигает 21%. Остальная часть контуров приходится на контуры с площадью 50-100 и >100 га

Таблица 13 – Количество (шт.) и относительное (%) соотношение от занимаемой площади контуров по содержанию гумуса в почве на 1000 га пашни

Почва (тестовый полигон)	Коэффициент расчлененности территории, км/км ²	Площадь контуров, га				Σ контуров
		<10	от 10 до 50	от 50 до 100	>100	
Чернозем обыкновенный (т.п. №2)	0,69	52*	14	4	2	72
		18**	32	24	26	
Чернозем южный (т.п. №6)	0,38	55	15	3	2	75
		19	37	18	26	
Темно-каштановая (т.п. №6)	0,19	17	8	0	3	28
		6,8	20,9	0	71,5	

Примечание: * - Количество контуров на 1000 га; ** - %-е соотношение от занимаемой площади

.Экологические условия формирования почвенного покрова и в частности гумуса почвы нашли отражения на коэффициенте пространственной вариации контуров.

Различные формы рельефа, формирующие интразональные зоны микроклимата и продуктивности агроценозов в условиях интенсивного сельскохозяйственного использования почвы способствуют дифференциации содержания гумуса в почве, тем самым усиливают его пространственную вариацию (таблица 14, рисунок 9).

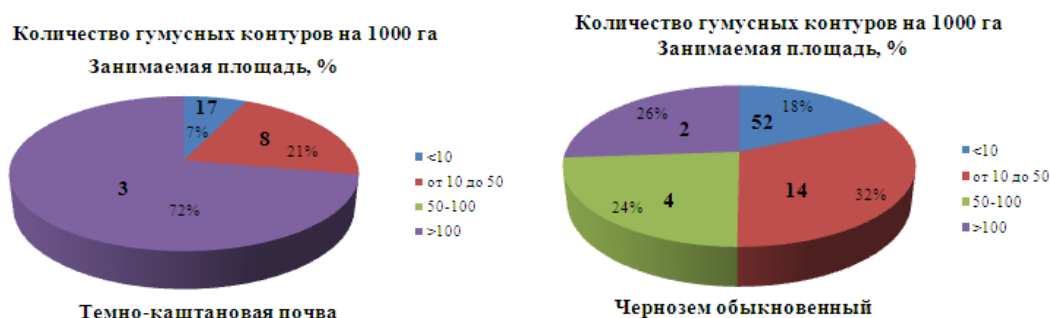


Рисунок 9 – Распределение количества гумусовых контуров на различных почвах

В условиях высокого уровня расчлененности территории на фоне интенсивного сельскохозяйственного использования почвы коэффициент пространственной вариации (V) гумусовых контуров на черноземе обыкновенном и южном в среднем был для преобладающих контуров был в 2,2 раза, а

для всего массива контуров на 19,7% выше, чем на темно-каштановых почвах, имеющих более низкий коэффициент расчлененности территории.

Таблица 14 – Коэффициент пространственной вариации гумуса по тестовым полигонам

Почва (тестовый полигон)	Среднее значение содержания гумуса в почве, %	Преобладающие по площади контуры	Коэфф. вариации (V), %	
			Для преобладающих контуров	Для всего массива
Чернозем обыкновенный (т.п. №2)	4,6	10-50	20,7	22,6
Чернозем южный (т.п. №6)	4,1	10-50	16,2	24,7
Темно-каштановая (т.п. №6)	3,3	>100	8,4	19

Коэффициент вариации гумусовых контуров на черноземе обыкновенном на 12,3%, а на черноземе южном – на 4,5% был выше, чем на темно-каштановых почвах.

Нитрификационная способность. Обеспеченность почвы нитратным азотом наиболее важный показатель для формирования систем удобрений. Не выявлено количественной связи между сформированными в пахотном слое почвы нитратной контурной системой и типовыми признаками почв.

Слабое влияние на дифференциацию нитратной контурной системы оказал уровень расчлененности территории поля (таблица 15, рисунок 10).

Таблица 15 – Количество (шт.) и относительное (%) пространственное распределение контуров по содержанию нитратного азота в почве на 1000 га пашни

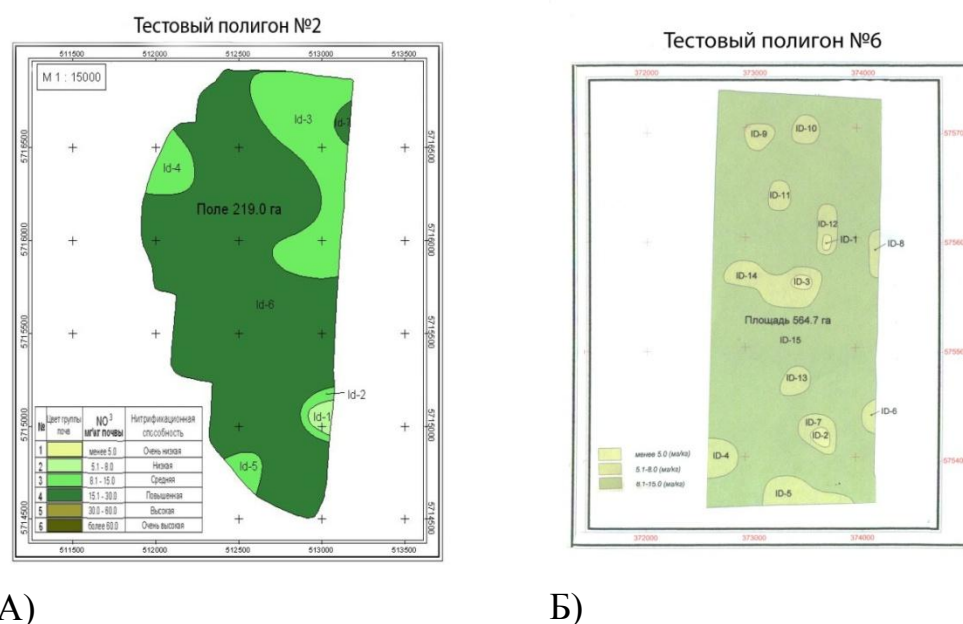
Почва (тестовый полигон)	Коэффициент расчлененности территории, км/км ²	Площадь контуров, га				
		<10	от 10 до 50	от 50 до 100	>100	Σ контуров
Чернозем обыкновенный (т.п. №2)	0,69	14*	6	2	4	26
		6**	13	16	65	
Чернозем южный (т.п. №6)	0,38	12	3	1	4	20
		5	7	8	80	
Темно-каштановая (т.п. №6)	0,19	14	6	0	3	23
		8	9	0	83	

Примечание: * - Количество контуров на 1000 га; ** - %-е соотношение от занимаемой площади

Также как и при анализе гумусовой системы контуров доминирующее положение по количеству в нитратной контурной системе заняли контуры с площадью <10 га. Их доля в общем количестве контуров составила 58%.

В количественном выражении мозаичность на обследованных почвах кардинально не отличалась, и лишь по сумме контуров на первом месте по пестроготе плодородия оказался чернозем обыкновенный (рисунок 10).

По-видимому, это связано со снижением нитрификационной способности почвы из-за уменьшения в групповом составе первых фракций гумуса на всех почвах Приволжской возвышенности и Сыртового Заволжья в результате повышенной активности эрозионных процессов



А)

Б)

Рисунок 10 – Агрехимическая карта нитрификационной способности:
А) чернозем обыкновенный, Б) темно-каштановая почва.

По занимаемой площади преобладают контуры >100 га. На тестовом полигоне №6 они занимают в среднем на 16% больше, чем на тестовом полигоне №2.

В отличие от гумусовой системы контуров коэффициент пространственной вариации нитратных контуров имел свои закономерности (таблица16).

Максимальное значение коэффициента вариации определилось на темно-каштановых почвах. Для преобладающих контуров он был на 67,5% вы-

ше, а для всего массива на 24,4% ниже, чем в среднем для чернозема обыкновенного и южного.

Таблица 16 – Влияние коэффициента расчлененности территории на коэффициент пространственной вариации нитратного азота по тестовым полигонам

Почва (тестовый полигон)	Коэф. расчлененности территории, км/км ²	Среднее значение содержания нитратного азота в почве, мг/кг	Преобладающие по площади контуры	V, %	
				Для преобладающих контуров	Для всего массива
Чернозем обыкн. (т.п. №2)	0,69	19,6	>100	21,1	50,6
Чернозем южный (т.п. №6)	0,38	19,9	>100	26,0	52,7
Темно-каштановая (т.п. №6)	0,19	10,6	>100	39,4	39,0

Реакция среды. Реакция почвенного раствора формируется под воздействием многих почвообразующих факторов. Одним из основных факторов – это геоморфологическое состояние поверхности поля, химический состав материнской породы матери, а также активность эрозионных процессов и интенсивность сельскохозяйственного использования почвенного покрова (таблица 17, рисунок 11).

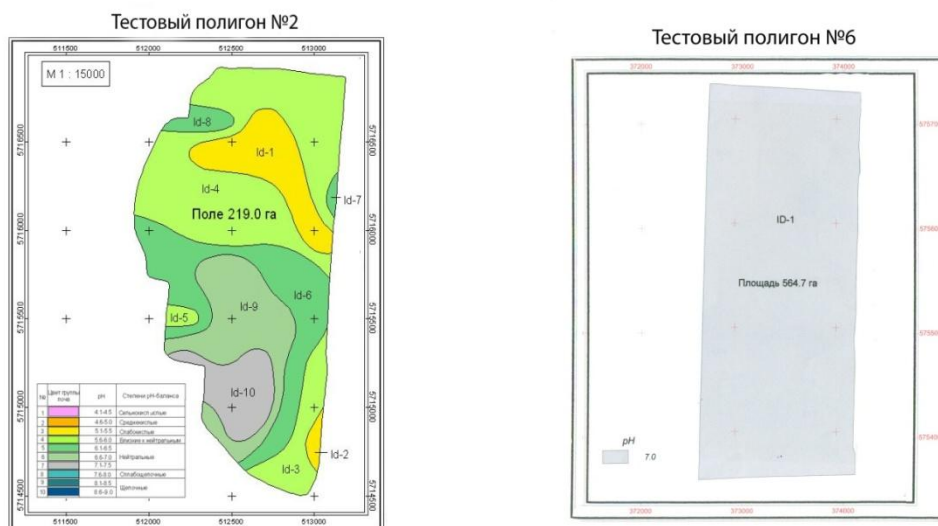
Таблица 17 – Количество (шт.) и относительное (%) пространственное распределение контуров реакции почвенного раствора (рН) в почве на 1000 га пашни

Почва (тестовый полигон)	Площадь контуров, га				
	<10	от 10 до 50	от 50 до 100	>100	Σ контуров
Чернозем обыкновенный (т.п. №2)	33*	16	3	2	54
	12**	36	26	26	
Чернозем южный (т.п. №6)	11	8	2	3	24
	5	20	16	59	
Темно-каштановая (т.п. №6)	4	2	0	2	8
	2	3	0	96	

Примечание: * - Количество контуров на 1000 га; ** - %-е соотношение от занимаемой площади

Доминирующее положение по количеству в контурной системе заняли контуры с площадью <10 га. В среднем по всем исследуемым почвам их доля

в общем количестве контуров составила 56%. Отмечен рост, как количества мелких контуров, так и суммы контуров при возрастающем коэффициенте расчлененности территории. Обратное противоположно изменяется площадь преобладающих контуров (>100 га).



А)

Б)

Рисунок 11 – Карта размещения контуров реакции среды (рН): А) чернозем обыкновенный, Б) темно-каштановая почва.

На величину коэффициента пространственной контурной вариации реакции среды заметное влияние оказали экологические условия формирования исследуемых почв (таблица 18).

Таблица 18

Влияние коэффициента расчлененности территории на коэффициент пространственной вариации реакции среды по тестовым полигонам

Почва (тестовый полигон)	Коэффициент расчлененности территории, км/км ²	Среднее значение реакции среды в почве	Преобладающие по площади контуры	Коэфф. вариации (V), %	
				Для преобладающих контуров	Для всего массива
Чернозем обыкновенный (т.п. №2)	0,69	6,0	10-50	10,2	10,6
Чернозем южный (т.п. №6)	0,38	7,0	>100	2,9	5,2
Темно-каштановая (т.п. №6)	0,19	7,0	>100	2,1	5,6

По мере возрастания коэффициента расчлененности коэффициент вариации увеличивается. На черноземных почвах, имеющих более высокий коэффициент расчлененности, коэффициент вариации для преобладающих контуров был соответственно в 3,5 и 4,9 для всего массива в 2,0 и 1,9 раза выше, чем для черноземов южных и темно-каштановых почв. По-видимому, это обусловлено, прежде всего, влиянием материнской породы и интенсивностью эрозионных процессов.

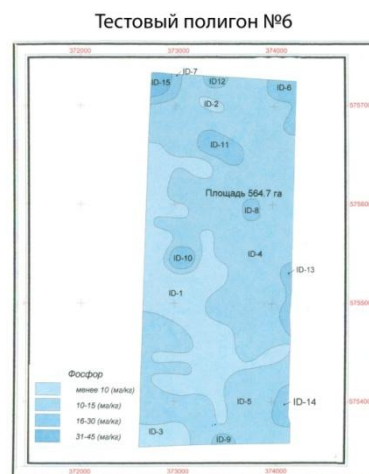
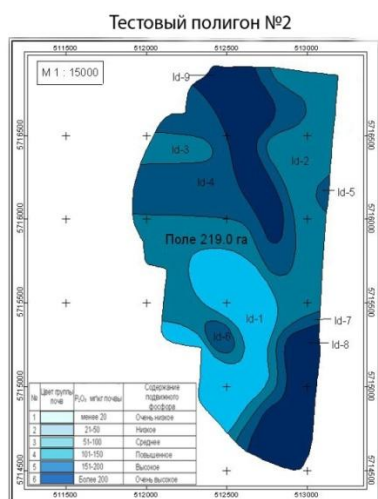
Подвижный фосфор. В условиях однообразия гранулометрического состава исследуемых почв количество и размер контуров по содержанию подвижного фосфора в пахотном горизонте во многом определяется перераспределением гранулометрических отдельностей по фациям агроландшафта процессами эрозии (таблица 19, рисунок 12).

Таблица 19 – Количество (шт.) и относительное (%) пространственное распределение контуров по содержанию подвижного фосфора в почве на 1000 га пашни

Почва (тестовый полигон)	Площадь контуров, га				Σ контуров
	<10	от 10 до 50	от 50 до 100	>100	
Чернозем обыкновенный (т.п. №2)	25*	8	4	2	39
	9**	20	26	46	
Чернозем южный (т.п. №6)	25	11	5	2	43
	10	25	35	29	
Темно-каштановая (т.п. №6)	17	4	0	2	23
	6	12	0	83	

Примечание: * - Количество контуров на 1000 га; ** - %-е соотношение от занимаемой площади

Увеличение количества контуров в районах с высоким базисом эрозии связано с активным выщелачиванием обменных оснований из пахотного слоя, в результате которого происходит разрушение кальциевых фосфатов и переход фосфора в доступную для растений форму. Причем этот процесс активнее протекает в отрицательных формах рельефа, что подтверждается преобладанием мелких контуров на всех тестовых полигонах.



А)

Б)

Рисунок 12 – Агрохимическая карта содержания подвижного фосфора: А) чернозем обыкновенный, Б) темно-каштановая почва.

На слаборасчлененных овражно-балочной сетью темно-каштановых почвах контуры с площадью >100 га занимают 83%. Эти контуры оказались менее обеспеченными фосфором, по сравнению со средним значением по массиву: на 11% в зоне чернозема обыкновенного, на 30% - чернозема южного и на 6% - темно-каштановой почвы.

Коэффициент пространственной вариации подвижного фосфора по контурам также был не одинаков для различных подтипов почв (таблица 20).

Таблица 20 – Влияние коэффициента расчлененности территории на коэффициент пространственной вариации подвижного фосфора по тестовым полигонам

Почва (тестовый полигон)	Среднее значение содержания подвижного фосфора в почве, мг/кг	Преобладающие по площади контуры	V, %	
			Для преобладающих контуров	Для всего массива
Чернозем обыкновенный (т.п. №2)	109,0 (по Чирикову)	10-50	20,7	22,6
Чернозем южный (т.п. №6)	15,5 (по Мачигину)	10-50	16,2	24,7
Темно-каштановая (т.п. №6)	14,7 (по Мачигину)	>100	8,4	19

Таким образом, даже при близких значениях содержания подвижного фосфора на тестовом полигоне №6 варибельность сильно зависит от гео-

морфологического строения поверхности поля и при переходе от чернозема южного к темно-каштановым почвам снижается в 2 раза.

Подвижный калий. Почвы степного биота тяжелого гранулометрического состава имеют высокую степень обеспеченности подвижным калием. Причиной колебания уровня содержания подвижного калия в тяжелых по гранулометрическому составу почвах могут быть связаны с геоморфологическим строением территории, активностью эрозионных процессов и повышенным выносом сельскохозяйственными растениями.

Почвенно-агрохимическое тестирование почв с использованием навигационного оборудования позволило определить пространственное размещение системы контуров с различным содержанием калия в почве (таблица 21).

Таблица 21 – Количество (шт.) и относительное (%) пространственное распределение контуров по содержанию подвижного калия в почве на 1000 га пашни

Почва (тестовый полигон)	Площадь контуров, га				Σ контуров
	<10	от 10 до 50	от 50 до 100	>100	
Чернозем обыкновенный (т.п. №2)	20*	7	3	3	33
	7**	15	23	55	
Чернозем южный (т.п. №6)	9	8	5	3	25
	4	18	41	37	
Темно-каштановая (т.п. №6)	15	6	1	2	24
	7	12	5	76	

Примечание: * - Количество контуров на 1000 га; ** - %-е соотношение от занимаемой площади

В среднем по всем исследуемым почвам было выявлено 27 контуров. Экологические условия и прежде всего коэффициент расчлененности территории оказал заметное влияние на уровень дифференциации системы контуров по содержанию подвижного калия. Максимальное количество контуров было определено на черноземе обыкновенном (33) с уровнем расчлененности территории $0,69 \text{ км/км}^2$, минимальное (24) на темно-каштановых почвах с уровнем расчлененности территории $0,19 \text{ км/км}^2$.

Преобладающими по количеству в общей систем контуров, также как и при определении других агрохимических показателей являются мелкие контуры до 10 га. Однако около 80% площади занимают контуры >50 га. Это

связано с повсеместным высоким и повышенным содержанием этого элемента в почве.

Коэффициент пространственной вариации подвижного калия также как и при анализе других агрохимических показателей укладывается в общую закономерность и снижается по мере движения от черноземных почв к темно-каштановым (таблица 22).

Таблица 22 – Влияние коэффициента расчлененности территории на коэффициент пространственной вариации подвижного калия по тестовым полигонам

Почва (тестовый полигон)	Коэффициент расчлененности территории, км/км ²	Среднее значение содержания подвижного калия в почве, мг/кг	Преобладающие по площади контуры	V, %	
				Для преобладающих контуров	Для всего массива
Чернозем обыкновенный (т.п. №2)	0,69	166 (по Чирикову)	>100	23,1	100
Чернозем южный (т.п. №6)	0,38	420 (по Мачигину)	50-100	17,3	24,5
Темно-каштановая (т.п. №6)	0,19	384 (по Мачигину)	>100	12,1	25,9

Наибольшее значение варибельности подвижного калия отмечено на черноземе обыкновенном, что связано, прежде всего, с пестротой материнских пород, сложной геоморфологией поверхности поля и активностью эрозионных процессов.

4.4. Связь агрохимических показателей с гумусом

Обеспеченность почв степного биома агрохимическими показателями во многом определяется уровнем содержания гумуса в почве [178,199, 116, 148,198,147, 15,16, 130,20].

Потенциальные возможности гумуса выражаются в количественном формировании питательных элементов (таблица 23).

Таблица 23 – Соответствие показателей эффективного плодородия гумусовым контурам в (т.п. №2 – чернозем обыкновенный)

Содержание гумуса по контурам, %	Агрохимические показатели, мг/кг			
	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH
2,5	13,8	100	126	5,1
3,0	8,5	326	168	5,4
3,5	6,1	144	211	5,8
4,0	9,8	205	210	5,7
4,5	10,6	374	150	5,8
5,0	11,9	185	235	5,8
5,5	13,5	203	279	6,0
6,0	15,3	195	353	6,5
6,5	16,0	153	329	6,7
К. корр. гумуса с	0,59	-0,31	0,91	0,95

Анализ данных агрохимического обследования чернозема обыкновенного (т.п.№2) показал, что обеспеченность нитратным азотом пахотного слоя пашни исследуемого поля, согласно градации по «Методике агрохимического обследования почв» находится на среднем – повышенном уровне обеспеченности. По мере повышения содержания гумуса нитрификационная способность почвы увеличивается. Установлена средняя корреляционная связь между содержанием гумуса в почве и обеспеченность почвы нитратным азотом ($r=0,46$). Наиболее обеспеченными нитратным азотом оказались почвы с содержанием гумуса от 5,5 до 6,5%.

Исследуемое поле по содержанию подвижного фосфора практически оказалось зафосфаченным. В среднем по всем анализируемым гумусовым

контурам содержание подвижного фосфора по Чирикову составило 209 мг/кг почвы. Поэтому закономерностей изменения содержания фосфора в почве от уровня гумусированности почвы не выявлено, что подтверждается коэффициентом корреляции между гумусом и содержанием фосфора в почве ($r=0,12$). Высокое содержание фосфора в почве, по-видимому, связано с проявлением эффекта последействия ранее вносимых фосфорных удобрений.

Увеличение в почве гумуса положительно отразилось на обеспеченности пахотного слоя подвижными формами калия. В среднем по полю содержание его в почве составило 229 мг/кг. Согласно градации эти почвы имеют очень высокую обеспеченность подвижными формами калия. Выявлен средний уровень корреляции ($r=0,58$) между уровнем содержания гумуса в почве и подвижным калием в почве. Таким образом, на удобренном калийными удобрениями почве гумус достаточно активно участвует в формировании обеспеченности почв подвижным калием.

Гумус почвы в определенной степени регулирует реакцию почвенного раствора, тем самым создает более комфортные условия для роста растений. По данным аналитической базы данных чем выше содержание гумуса в почве тем в большей мере оптимизируется реакция среды. Коэффициент корреляции между гумусом и рН почвенного раствора составил $r=0,59$.

В условиях каштановой зоны на черноземах южных получена очень четкая зависимость агрохимических показателей от уровня содержания гумуса (таблица 24, приложение 8,9).

Таблица 24 – Соответствие агрохимических показателей гумусовым контурам в черноземе южном (т.п. №6 – чернозем южный)

Содержание гумуса по контурам, %	Содержание агрохимических показателей, мг/кг			
	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH
2,5	12,4	10,1	311,6	7,3
3,0	11,9	10,1	323,9	7,2
3,5	12,8	13,9	351,6	7,1
4,0	13,1	23,1	415,1	7
4,5	14,9	30,2	361,3	6,8
К. корр. гумуса с	0,30	0,46	0,23	-0,57

Анализ базы первичных агрохимических данных по анализируемому полю показал, что связь между гумусом с одной стороны и нитрификационной способностью и калием с другой оказалось слабой ($r=0,30$).

Связь гумуса с обеспеченностью подвижным фосфором и реакцией почвенного раствора соответственно положительная и отрицательно средняя ($r= 0,46, - 0,57$).

На темно-каштановых почвах связь агрохимических показателей с содержанием гумуса в почве определялась по всем показателям на низком уровне, что, по-видимому, связано с низким уровнем содержания гумуса в почве и его потенциальными возможностями (таблица 25).

Таблица 25 – Соответствие показателей эффективного плодородия гумусовым контурам в темно-каштановой почве (т.п. №6, ООО «Агрофирма «Рубеж»)

Содержание гумуса по контурам, %	Содержание агрохимических показателей, мг/кг			
	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH
2,5	13,0	10,1	369,2	7,1
3,0	13,6	10,1	379,6	7,1
3,5	12,7	10,7	387,5	7,1
К. корр.гумуса с	-0,13	0,17	0,13	-0,15

Поэтому уровень корреляционной связи находился в диапазоне $r=0,13 - 0,15$. Причем для нитрификационной способности и реакции почвенного раствора она оказалась отрицательной, а для остальных показателей положительной.

Таким образом, рельеф и активность эрозионных процессов основной фактор формирования пестроты почвенного плодородия в условиях степного биома. В результате использования новой технологии почвенно-агрохимического тестирования на 1000 га пашни выделено на черноземе обыкновенном 72, черноземе южном в зоне распространения почв каштанового типа 75 и на темно-каштановых почвах 28 гумусовых контуров. Коэффициент вариации ($k_{\text{вар}}$) этих контуров в пространстве соответственно составил 22,6-24,7-19. Для нитрификационной способности соответственно 26;20;

23 контура с $k_{\text{вар}}$ соответственно 50,6;52,7;39,0, для рН 54;24;8 с $k_{\text{вар}}$ соответственно 54;24;8, для подвижных форм фосфора 39;43;23, и $k_{\text{вар}}$ 39;43;23, и калия соответственно 33;25;24, и $k_{\text{вар}}$ 100;24,5;25,9.

Чем выше коэффициент расчлененности территории, тем выше уровень связи между гумусом и отдельными агрохимическими показателями. Для чернозема обыкновенного общий уровень коэффициента корреляционной зависимости от гумуса, в среднем по 4 показателям, составил 0,38 (для нитрификационной способности $r=0,46$, подвижного фосфора и калия $r= -0,12$ и $r=0,58$ и рН $r=0,59$). Для чернозема южного соответственно 0,42 (соответственно $r=0,30$; 0,46; 0,23; -0,57), для темно-каштановых почв $r=0,02$ (соответственно $r=-0,13$;0,17;0,13;-0,15).

На почвах с более высоким уровнем расчлененности территории и систематическим проявлением водной эрозии связь между потенциальными возможностями почвы с обеспеченностью почвы агрохимическими показателями становится более устойчивой, чем на почвах с низким коэффициентом расчлененности.

По-видимому, остаточное количество доступных питательных веществ предыдущего года на почвах с низким уровнем расчлененности и приглушенными процессами водной эрозии приводит к нивелировке запасов питательных веществ, что негативно отражается на коэффициенте корреляции между гумусом и отдельными агрохимическими показателями.

Глава 5. Влияние удобрений на урожайность зерновых культур в различных экологических условиях

5.1. Экологические условия применения удобрений в агроландшафте

В условиях неоднородных по рельефу территорий распаханые ландшафты находятся под депрессионным влиянием природных и антропогенных факторов. Процессы эрозии, интенсификация производства сельскохозяйственной продукции, низкий уровень воспроизводства плодородия в условиях глобального изменения климата приводят к перераспределению энергетических потоков в агроландшафте и углублению природной пестроты плодородия почв [70, 114,31].

Особенно большой сложностью отличается внутриландшафтный механизм преобразования атмосферного увлажнения. Стеkanie атмосферных осадков по склонам и распределение их по рельефу – главные факторы пестроты плодородия почв. Величина склонового стока и ее соотношение с той частью атмосферных осадков, которые аккумулируются почвой, определяются условиями снеготаяния, а также особенностями рельефа (крутизной, формой), протяженностью склона, интенсивностью выпадающих осадков, гранулометрическим составом пород, фильтрационной способностью и влагоудержанием почвогрунта.

При одних и тех же зональных и азональных условиях, т.е. в одном и том же ландшафте, как правило, происходит перераспределение солнечной радиации, влаги и минеральных веществ по местоположениям. Вследствие этого каждое местоположение будет характеризоваться специфическим микроклиматом, тепловым, водным и пищевым режимами. Тем самым разные местоположения должны характеризоваться неодинаковым экологическим потенциалом, т.е. совокупностью условий местообитания для организмов.

Исследования, проведенные в рамках агроландшафта, выявили определенные особенности формирования водных и воднофизических свойств почвы (таблица 26).

Как показали исследования, основной запас свободной влаги в почве формируется за счет зимних твердых осадков, которые в период снеготаяния поступают полностью в почвенную систему за пределы 1 м слоя почвы.

Таблица 26 – Запасы свободной влаги в 1,5 м слое почвы и их корреляционная связь с физическими и воднофизическими свойствами почвы по элементам рельефа (2011-2013 гг., т.п. №5 – чернозем южный)

Коэффициент корреляции	Времена года			
	Весна	Лето	Осень	Зима
Водораздельная часть агроландшафта				
Запасы влаги, мм	222	114	82	184
Физическая глина (<0,01 мм)	0,06	0,21	-0,66	-0,73
Плотность сложения	0,01	0,29	-0,61	-0,81
В среднем по склону северной экспозиции				
Запасы влаги, мм	211	107	102	173
Физическая глина (<0,01 мм)	0,07	0,07	-0,31	-0,47
Плотность сложения	-0,1	0,23	-0,34	-0,74
В среднем по ложбине				
Запасы влаги, мм	266	169	176	257
Физическая глина (<0,01 мм)	0,03	0,41	-0,07	-0,44
Плотность сложения	-0,1	0,38	0,08	-0,33
В среднем по склону южной экспозиции				
Запасы влаги, мм	223	136	112	217
Физическая глина (<0,01 мм)	-0,17	0,16	-0,59	-0,71
Плотность сложения	-0,16	0,34	-0,49	-0,77

По мере изменения температурного режима запас свободной влаги в почве снижался от весны к осени с последующим увеличением ее зимой.

В весенний период на всех анализируемых геоморфологических элементах на запас в почве свободной влаги показатель физическая глина и плотность сложения почвы не оказали заметного влияния ($r=-0,1-0,07$).

В летний период взаимосвязь между влагой и анализируемыми показателями укрепилась. Коэффициент корреляции увеличился на водоразделе до значения $r=0,21-0,29$, на склоне связи свободной влаги с физической глиной

не обнаружено, а с плотностью сложения она выросла до слабой ($r=0,23$), в ложбине соответственно до средней ($r= 0,41$) и умеренной ($r=0,38$).

В осенний и зимний периоды связь между свободной влагой и анализируемыми свойствами почвы носила обратный (отрицательный) характер, что, по-видимому, связано с изменением, прежде всего, температуры почвы. Наиболее тесная отрицательная корреляционная зависимость между запасами свободной влаги и физическими, воднофизическими свойствам почвы установлена в зимний период. По мере падения крутизны склона от водораздельной его части к отрицательным формам рельефа связь запасов свободной влаги в почве с физическими и воднофизическими свойствами почвы ослабевает и минимальное его значение выявлена в ложбине.

Уровень содержания свободной влаги и нитратного азота в пахотном слое почвы по фазам развития яровой пшеницы определялся испытуемыми вариантами опыта.

За период проведения исследований основной запас свободной влаги в пахотном слое (0-40 см) под яровой пшеницей формировался под влиянием, прежде всего, за счет выпадающих атмосферных осадков. Осенне-зимние запасы влаги в условиях систематически проявляющейся острой весенней засухи испарялись из корнеобитаемого слоя почвы (таблица 27).

Таблица 27 – Динамик влаги, и нитратного азота на черноземе южном по фазам развития яровой пшеницы в слое 0-40 см (2012-2013 гг., т.п.№ 5)

Слой, см	Фазы вегетации											
	Кущение				Колошение				Полная спелость			
	Контроль		Наа68		Контроль		Наа68		Контроль		Наа68	
	1*	2**	1*	2**	1*	2**	1*	2**	1*	2**	1*	2**
0-20	<u>6,0</u>	<u>6,5</u>	<u>10,0</u>	<u>10,4</u>	<u>10,2</u>	<u>9,7</u>	<u>6,3</u>	<u>5,8</u>	<u>10,1</u>	<u>5,5</u>	<u>7,4</u>	<u>7,1</u>
	5,9	8,3	15,6	18,6	2,6	7,9	8,5	12,9	2,4	5,5	5,6	6,5
20-40	<u>8,6</u>	<u>8,5</u>	<u>13,0</u>	<u>12,5</u>	<u>11,6</u>	<u>10,3</u>	<u>6,8</u>	<u>6,6</u>	<u>5,8</u>	<u>2,2</u>	<u>3,7</u>	<u>4,6</u>
	3,9	9,9	<u>5,0</u>	<u>14,4</u>	4,0	4,0	7,3	9,5	2,2	3,3	2,8	4,3
Σ 0-40	<u>14,6</u>	<u>15,0</u>	<u>23,0</u>	<u>22,9</u>	<u>21,8</u>	<u>20,0</u>	<u>13,1</u>	<u>12,4</u>	<u>15,9</u>	<u>7,7</u>	<u>11,1</u>	<u>11,7</u>
	9,8	18,2	20,6	33,0	6,6	11,9	15,8	22,4	4,6	8,8	8,4	10,8

Примечание: * – по предшественнику яровая пшеница, ** – по предшественнику многолетние травы, числитель – влага, мм, знаменатель – содержание азота в почве, мг/кг

За весь период вегетации обеспеченность яровой пшеницы влагой находилась на низком уровне.

Выявлена определенная закономерность изменения запасов влаги по фазам развития яровой пшеницы. Более высокие по сравнению с другими фазами развития запасы влаги в пахотном слое отмечались в фазу кущения яровой пшеницы. Предшественники и удобрения практически не оказали существенного влияния на запасы влаги в пахотном слое.

В период максимального накопления вегетативной массы (фаза колошения) и отсутствии эффективных атмосферных осадков запасы свободной влаги в слое 0-40 см заметно уменьшались, особенно по предшественнику многолетних трав и на удобренном варианте. В период наступления фазы полной спелости запасы свободной влаги пахотного слоя почти полностью были использованы возделываемой культурой. По-видимому, основным источником влаги для развития культуры оказались запасы влаги нижележащих почвенных горизонтов.

Минеральный азот в комплексе с свободной влагой имеет практически решающее влияние на уровень развития яровой пшеницы.

В среднем по всем вариантам обеспеченность нитратным азотом в пахотном слое (0-40 см) находилась на среднем уровне.

Выявлены особенности изменения запасов нитратным азотом по фазам вегетации яровой пшеницы под влиянием предшественников и вносимой дозы удобрения.

Максимальные запасы нитратного азота отмечались на всех вариантах в фазу кущения культуры. Удобрения увеличили запас нитратного азота по сравнению с контролем по предшественнику яровая пшеница на 29,7%, по многолетним травам на 30,9%.

В фазу колошения различия в запасах нитратного азота пахотного слоя между предшественниками находились на одном уровне, а на варианте с внесением Naab8 эти различия сохранились на уровне фазы кущения (29,5%).

К фазе полной спелости запасы нитратного азота на всех вариантах опыта уменьшились. Особенно заметное снижение запасов нитратного азота отмечается по предшественнику яровая пшеница.

Определенное влияние на обеспеченность почвы питательными элементами оказал рельеф (таблица 28).

Таблица 28 – Влияние рельефа на содержание питательных элементов в почве по фациям (т.п. №5 – чернозем южный)

Фации ландшафта	Содержание питательных элементов в почве, мг/кг		
	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Водораздельная	9,3	40,7	260
Верхняя	6,0	50,4	260
Средняя	6,5	51,6	240
Нижняя	6,0	34,1	235

Анализ перераспределения элементов питания в почве т.п. №5 по фациям (частям) склона показал, что содержание нитратного азота в пахотном слое уменьшается от водораздельной к нижней фации склона. В отрицательных формах тенденция перераспределения нитратного азота также как и на склоне сохраняется с отклонением в сторону увеличения содержания нитратного азота в почве нижней части ложбины.

Наиболее обеспеченной подвижным фосфором оказалась почва отрицательных форм рельефа. Содержание его в пахотном слое составило 56,3 мг/кг, что на 10,8мг/кг или 19,2% выше, чем на почвах повышенных форм рельефа. В целом по склону отмечено незначительное его увеличение в средней части (фации) склона по сравнению с верхней фацией до 51,6 мг/кг с последующим резким снижением в нижней его части (фации) до 34,4 мг/кг. Зафиксированы существенные различия в содержании подвижного калия по элементам рельефа. В среднем по склону в пахотном слое почв содержание подвижного калия составляет 245,0 мг/кг.

Различия в агрохимических показателях по элементам рельефа склона северной экспозиции отразились на формировании продуктивности яровой пшеницы (таблица 29, 30).

За изучаемый период, максимальная урожайность яровой пшеницы была получена на средней фации склона. В среднем за 3 года исследований, она соответственно составила 0,6 т/га, что на 0,1 и 0,2 т/га выше, чем на верхней и нижней фациях склона.

Таблица 29 – Влияние экологических условий на урожайность яровой пшеницы на склоне северной экспозиции, т/га(2010–2012 гг., т.п №5 – чернозем южный)

Годы (Фактор В)	Водораз- дельная (элювиаль- ная)	Продуктивность по фациям, т/га (Фактор А)			Сред- нее по фациям
		Верхняя (трансэ- лювиальная)	Средняя (трансак- кумулятивная)	Нижняя (акку- мулятивная)	
Склон СЭ					
2010	0,4	0,3	0,3	0,1	0,2
2011	1,0	1,1	1,1	0,8	1,0
2012	0,9	0,4	0,6	0,5	0,5
Среднее	0,8	0,6	0,6	0,5	0,6
Математическая обработка					
Фактор	НСР _{0,95}	F теор.		F факт.	
А	0,073	3,05		24,77*	
В	0,064	3,44		301,9	

Различия в продуктивности яровой пшеницы подтверждаются ее корреляционными связями с изучаемыми экологическими факторами.

Положительные связи продуктивности яровой пшеницы отмечены с промерзанием почвы ($r=0,52$) и содержанием физической глины ($r=0,32$). Отрицательные зависимости наблюдаются с запасами свободной влаги 1,5-метрового слоя в период развития яровой пшеницы ($r=-0,49$), мощностью снегового покрова ($r=-0,6$), содержанием воды в снеге ($r=-0,45$) и плотностью сложения почвы ($r=-0,41$).

Содержание азота, фосфора и калия в почве наряду с геоморфологическими особенностями поверхности поля, напрямую оказывает влияние на процесс формирования урожайности возделываемых культур (таблица 30 рисунок 13, приложение 12).

Одной из причин, существенно влияющих на вариабельность величины и качества урожая в пределах производственного участка, нередко оказывается пестрота полей по микрорельефу, почвенному покрову и содержанию питательных веществ. Чем сложнее топографические, почвенные и климатические условия, тем более дифференцированным должны быть размещение культур и используемые технологии их возделывания [74,12, 56, 85,84]. В формировании урожая зерновых культур большое значение имеет фациальная принадлежность и ориентированность склонов.

В зернопаровом севообороте наибольшее содержание питательных элементов, перед посевом яровой пшеницы, отмечалось на верхней фации склона южной экспозиции (СЮЭ). В среднем за 2011 – 2013 гг., азотом, фосфором и калием почва верхней фации была на 54, 56 и 17 % обеспечена ниже, чем почва нижней фации, что объясняется вымыванием питательных элементов вниз по склону.

Многолетние травы в зернотравяном севообороте за счет азотофиксации бобовой культуры увеличивают депо питательных элементов в почве.

Таблица 30 – Фациальные особенности формирования урожайности яровой пшеницы на склоне южной экспозиции (СЮЭ), т/га (2011 – 2013 гг., т.п №5 – чернозем южный)

Годы наблюдений (Фактор А)	Яровая пшеница по предшествующему многолетние травы			Яровая пшеница предшествующему яровая пшеница			Среднее по 2 севооборотам
	Фации (Фактор В)						
	трансэлювиальная (верхняя)	трансаккумулятивная (нижняя)	в среднем	трансэлювиальная	трансаккумулятивная	в среднем	
2011	2,4	2,5	2,45	1,9	2,3	2,1	2,3
2012	1,4	1,4	1,4	0,8	1,0	0,9	1,2
2013	1,4	1,4	1,4	0,7	1,0	0,85	1,1
Среднее	1,7	1,8	1,5	1,1	1,4	1,25	1,4
Математическая обработка данных							
Фактор	НСР _{0,95}		F _{теор.}		F _{факт.}		
А	0,076		3,44*		189,14		
В	0,088		3,05*		17,51		
А+В	0,153		2,55*		198,54		

Поэтому распределение питательных элементов по склону на посевах яровой пшеницы по пласту многолетних трав имеет менее дифференцированный характер. Различия в содержании минерального азота, подвижных форм фосфора и калия по фациям склона не превышали 11, 16 и 8 %.

В соответствии с геоморфологическим и ландшафтным строением, обеспеченностью почвы различных фаций питательными элементами формировалась урожайность яровой пшеницы.

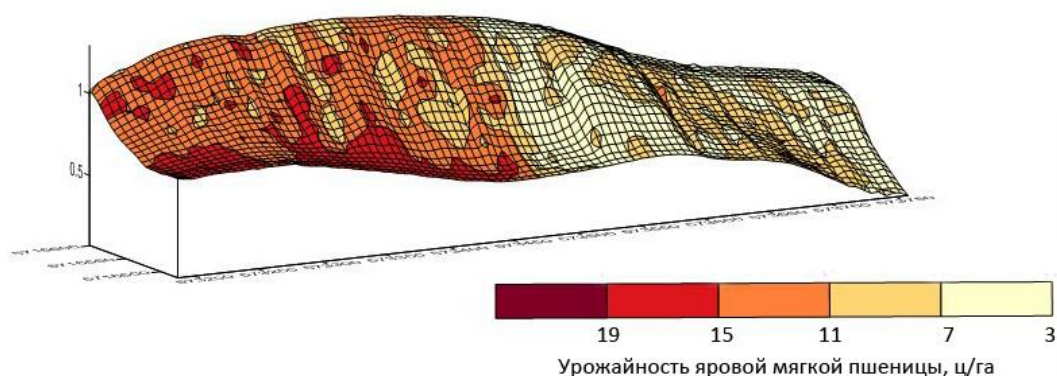


Рисунок 13 – Карта взаимосвязи урожайности яровой пшеницы с геоморфологией поверхности поля (т.п №5 – чернозем южный).

Детальный, совмещенный с точками отбора смешанных проб, зафиксированных навигационным оборудованием на местности, учет урожая яровой пшеницы на площади 8 га, проведенный в годы проведения исследований, позволил выявить роль геоморфологии и обеспеченности почвы питательными элементами в формировании урожайности яровой пшеницы.

В соответствии с сеткой пространственного размещения смешанных почвенных проб на поле было отобрано 640 образцов зерна яровой пшеницы в трехкратной повторности.

Обработка взятых растительных образцов показала, что в формировании урожайности яровой пшеницы важную роль играют как геоморфологическое строение поверхности поля, так и обеспеченность почвы питательными элементами.

Выявлено, что чем ниже обеспеченность почвы питательными элементами, тем активнее роль геоморфологии в формировании продуктивности пшеницы. Урожайность яровой пшеницы в зернопаровом севообороте на фациях с более высокой обеспеченностью (трансаккумулятивные) питательными элементами была на 0,3 т/га выше, чем на верхней части склона (трансэлювиальной). По пласту многолетних трав роль геоморфологии в формировании урожайности яровой пшеницы менее выражена, чем на зернопаровом севообороте. Однако наиболее высокий уровень урожайности (2,4 т/га) яровой пшеницы был получен на нижней фации (трансаккумулятивной) склона по пласту многолетних трав.

В среднем различия в урожайности между более обеспеченной ландшафтной фацией (трансаккумулятивной) и менее обеспеченной (трансэлювиальной) составила всего лишь 0,1 т/га. Независимо от уровня плодородия почвы, урожайность яровой пшеницы на нижней фации склона была на 16,6 % выше, чем на верхней (трансэлювиальной) фации склона.

Таким образом, уровень обеспеченности почвы питательными элементами регулирует уровень влияния геоморфологии на урожайность возделываемых культур.

5.2. Связь урожайности и качества пшеницы с уровнем содержания в почве гумуса и питательными элементами

В условиях выраженного рельефа причиной внутривоспольного колебания уровня урожайности и качества сельскохозяйственных культур, наряду с геоморфологической ситуацией является пестрота почвенного плодородия [1, 9, 118].

Существующие методики почвенно-агрохимической оценки почвенного покрова не предусматривают детального изучения контурной дифференциации почвенного плодородия, что, в свою очередь, даже в рамках одного поля не позволяет достаточно точно выделить рабочие участки для диффе-

ренцированного учета уровня урожайности и качества возделываемых культур.

На основе применения компьютерных технологий и новых методических разработок почвенно-агрохимического тестирования на тестовых полигонах №2, 5, 6 было проведено почвенно-агрохимическое обследование пашни (1 смешанная проба с 5 га) с учетом геоморфологии поля.

По результатам полевых изысканий и лабораторных анализов была сформирована контурная система по содержанию гумуса, минерального азота, подвижного фосфора и калия и реакции почвенного раствора на тестовых полигонах №6 и №2.

Тестовый полигон №6 в Пугачевском районе представлен черноземом южным и темно-каштановыми почвами. Для данного тестового полигона был рассчитан коэффициент расчлененности территории который составил для почв каштанового типа 0,19, для почв чернозема южного 0,38.

В процессе почвенно-агрохимической диагностики пашни на поле выявлено 16 элементарных контуров с различным содержанием гумуса (таблица 31, рисунок 14).

Геоморфологические особенности рельефа определяют характер перераспределения влаги и питательных элементов и формируют зоны их аккумуляции и деградации.

Таблица 31 – Корреляционная зависимость содержания гумуса и агрохимических показателей плодородия (2011 – 2013 гг., т.п. №6 – чернозем южный)

Гумус, %	Урожайность т/га	Содержание агрохимических показателей, мг/кг			
		NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH
2,5	1,4	11,1	10,0	382,0	7,3
3,0	1,3	11,7	10,4	308,0	7,2
3,5	1,9	12,7	14,2	313,9	7,1
4,0	2,0	13,9	21,0	367,7	7,0
4,5	2,5	15,3	31,9	386,7	6,7
Корр. гумуса с агрохимическими показателями	0,88	0,99	0,94	0,29	-0,96
К корр. урожайности с агрохимическими показателями		0,96	0,95	0,46	-0,95

По результатам полевых изысканий и лабораторных почвенно-агрохимических анализов компьютерной программой была сформирована контурная система, которая состояла из 16 элементарных контуров с различным содержанием гумуса. 6 контуров по содержанию нитратного азота (нитрификационная способность почв), 15 по содержанию подвижного фосфора, 6 контуров по содержанию подвижного калия и 6 контуров по реакции почвенного раствора (рН). В результате генерализации было сформировано 5 групп по уровню содержания гумуса с шагом между ними 0,5 % гумуса.

Результаты анализа полученной информации показали, что основной массив пашни (159,2 га, или 92,5 % общей площади) занимают контуры с содержанием гумуса 3,5–4,0–4,5 %, расположенные преимущественно на водоразделах и верхних частях склона. Наиболее широко представлены контуры с содержанием гумуса 3,5 и 4,0 %, занимающие соответственно 35,2 и 38,6 % от площади поля. Контуры с низким содержанием гумуса (3,0–3,5 %) занимают 12,9 га (7,5 %) и приурочены к нижней части склона, наиболее крутому участку поля (5-7°).

В рамках одного поля установлен высокий положительный уровень связи гумуса с нитратным азотом ($r=0,99$), доступным фосфором 0,94 и отрицательный с реакцией среды -0,96. Уровень связи между гумусом и калием оказался слабым ($r=0,29$)

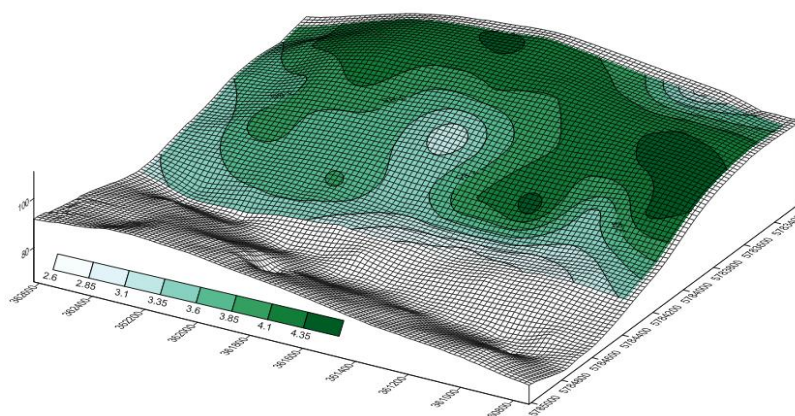


Рисунок 14 – Трехмерная модель геоморфологического строения поверхности поля и распределение гумусовых контуров по уровню содержания гумуса (т.п. №6 – чернозем южный).

В условиях Юго-Востока наиболее существенным экологическим фактором формирования урожайности яровой пшеницы является постоянный дефицит атмосферных осадков, особенно в начальный период ее развития.



Рисунок 15 – Уборка урожая в КФХ «Сарсенбаев Г.Т.», Пугачевский р-н.

Для определения связи между содержанием в почве гумуса и агрохимических показателей плодородия в течение 3-х лет на тестовом полигоне проводился поконтурный учет урожая озимой пшеницы (**приложение 11, 12**) (рисунок 15). Максимальный уровень урожайности озимой пшеницы (2,5 т/га) был получен на рабочем контуре с содержанием гумуса 4,5%. По сравнению с рабочим участком, содержащем 2.5%, урожайность культуры увеличилась на 1,1 т/га или 81%.

Исследования показали, что основным фактором, влияющим на интегрированную величину урожайности и качество зерновых культур, является пестрота плодородия почв, которая в свою очередь находится под давлением рельефа поля и сопутствующей ему плоскостной водной эрозии [8,31,43, 118]. Чем сложнее геоморфологическая ситуация на поле, тем точнее поконтурное размещение культур и технологий их возделывания (рисунок 16).

Установлена математически доказуемая связь между урожайностью и содержанием в почве гумуса. На каждые 0,5 % гумуса в среднем приходится прибавка 0,3 т/га, что доказывает высокую значимость гумуса в формировании продуктивности зерновых культур. Максимальный уровень урожайности отмечали на водораздельной части, а минимальный – в нижней части крутого склона, что, по-видимому, связано с эрозионной деятельностью. В среднем по полю урожайность составила 1,8 т/га.

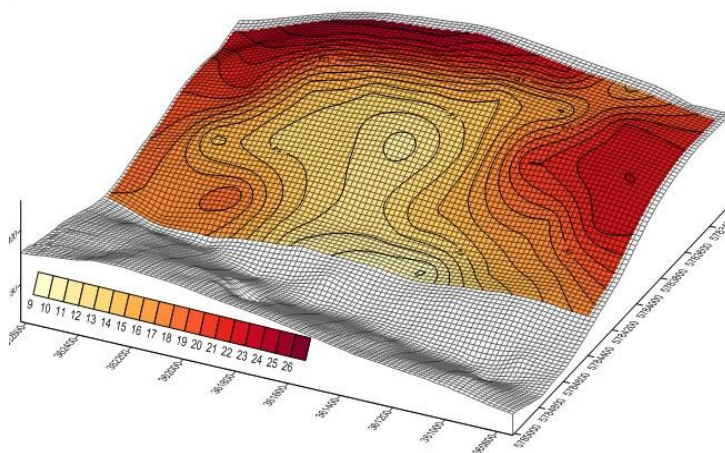


Рисунок 16 – Внутриполевое распределение урожайности озимой пшеницы в зависимости от геоморфологической ситуации и внутриконтурного содержания гумуса в почве (т.п. №6 – чернозем южный)

Увеличение в почве исследуемого поля содержания гумуса на 1% (с 2,5% до 3,5%) способствовало росту урожайности озимой пшеницы на 0,5 т/га. В диапазоне содержания гумуса в почве от 4 до 4,5% также была получена прибавка урожайности культуры (0,6 т/га). Разница в урожайности по рабочим участкам с содержанием гумуса от 2,5% до 4,5% составила 1,1 т/га.

Математическая обработка урожайных данных и содержания гумуса в почве выявила очень высокий уровень связи ($r=0,88$) между ними. Для условий каштановой зоны высокий уровень коррелятивной зависимости урожайности озимой пшеницы был выявлен с нитратным азотом ($r=0,96$) доступным фосфором ($r=0,95$), умеренный с калием и отрицательно высокий ($r=0,95$) с рН.

Тестовый полигон №2 находится в зоне распространения чернозема обыкновенного на Приволжской возвышенности. Поэтому эти почвы отли-

чаются высоким ($0,69 \text{ км/км}^2$) уровнем расчлененности территории, что связано, прежде всего, с высокой активностью плоскостного смыва в период снеготаяния.

Почвенно-агрохимическое детальное обследование почвы на т.п. №2 с применением компьютерных технологий позволило определить содержание в почве гумуса, нитратного азота, доступных форм фосфора и калия и реакции почвенной среды и их размещение по геоморфологическим элементам, и коррелятивную связь между ними (таблица 32, рисунок 17).

Реакция почвенного раствора определялась содержанием в почве гумуса. Чем выше содержание гумуса, тем более благоприятная для возделывания культуры формировалась рН.

Таблица 32 – Корреляционная зависимость содержания гумуса и агрохимических показателей плодородия чернозема обыкновенного (2011 – 2013 гг., т.п. №2 – чернозем обыкновенный)

Фации	Содержание гумуса в почве, %	Урожайность, т/га	N-NO ₃ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	рН
Элювиальная	2,5	2,0	13,8	100,0	126,0	5,1
	3,0	2,7	8,5	326,5	168,0	5,4
	3,5	2,9	6,1	143,6	211,3	5,8
Трансэлювиальная	4,0	2,6	9,8	205,0	210,3	5,7
	4,5	3,0	10,6	374,5	150,2	5,8
	5,0	2,6	11,9	185,5	235,6	5,8
Трансаккумулятивная	5,5	4,1	13,5	202,8	279,3	6,0
	6,5	5,1	16,0	153,5	329,0	6,7
Аккумулятивная	7,0	6,4	13,5	53,0	327,0	7,0
К корр. гумуса с агрохимическими показателями		0,90	0,59	-0,31	0,91	0,95
К корр. урожайности с агрохимическими показателями			0,51	-0,42	0,87	0,51

Уровень корреляционной зависимости содержания питательных элементов от гумуса в почве был на более низком уровне, чем на черноземе южном каштановой зоны. Так корреляционная связь между гумусом и нитратным азотом в черноземе обыкновенном (т.п. №2) была умеренной, и составила $r=0,59$, а на черноземе южном полной ($r=0,99$).

Почвенно-агрохимическое обследование выявило высокий уровень зафосфаченности почвы. Поэтому связь гумуса с доступными формами фосфора оказалась отрицательно умеренной ($r=-0,31$). Корреляция между гумусом и доступными формами калия была на высоком уровне ($r=0,91$).

При содержании в почве гумуса 2,5% она была кислой, а при содержании гумуса в диапазоне от 5,5 до 7,0% реакция раствора была нейтральной или близкой к ней. Поэтому корреляционная связь между содержанием в почве гумуса и pH почвенного раствора находилась на очень высоком уровне и составила $r=0,95$.

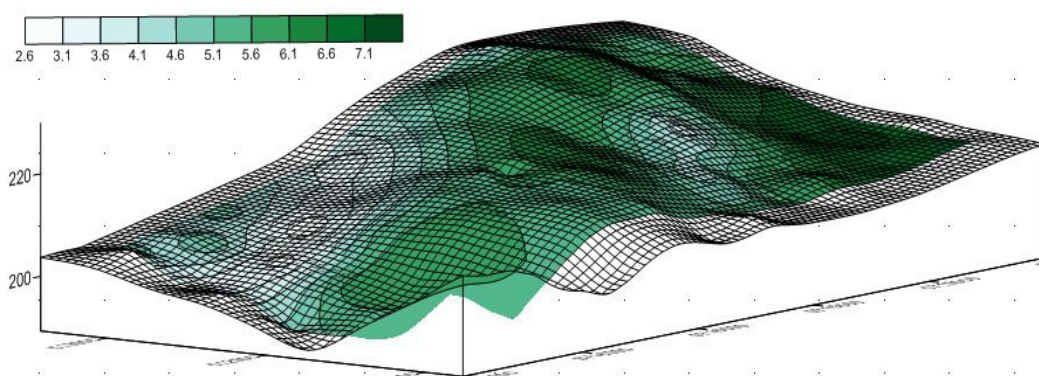


Рисунок 17 – Трехмерная модель размещения гумусовых контуров на поверхности исследуемого поля т.п. №2 – чернозем обыкновенный

Проведенная уборка урожая озимой пшеницы на пространственно зафиксированных на местности контурах т.п. №2 показала, что, как и на почвах чернозема южного т.п. №6, внутриполевая связь гумуса с урожайностью находится на очень высоком уровне ($r=0,88$).

Выявлена закономерность сопряженного повышения уровня содержания гумуса в почве и уровня урожайности озимой пшеницы. Причем параметры роста уровня урожайности соответствовали росту содержания гумуса в почве. Так если в диапазоне от 2,5% до 3,5% (элювиальная фация) в среднем на 1% гумуса приходилось 0,53 т/га урожая, то в диапазоне от 3,5% до 5,0% (трансэлювиальная фация) она составила 0,23т/га. В трансаккумулятивной фации (от 5,5% до 6,5% гумуса) средняя прибавка урожайности увеличилась до 1 т/га, на почве аккумулятивной фации (7,0%) 1,3 т/га. Выявленная зако-

номерность изменения урожайности по гумусовым контурам на черноземе обыкновенном подтвердилась и на черноземе южном (т.п. №6). В диапазоне от 2,5% до 3,5% гумуса на 1% гумуса приходилось 0,5 т/га, а от 2,5% до 4,5% – 1,1 т/га (рисунок 17).

В едином рабочем участке прослеживалось влияние гумуса на урожайность озимой пшеницы и содержание клейковины в зерне (таблица 33, рисунок 18-21).

Полученные данные указывают, что в рамках одного поля, в одних технологических условиях возделывания культуры по мере увеличения степени гумусированности почвы прослеживается прогрессивная связь содержания урожайности и содержанием клейковины в зерне.

Таблица 33 – Влияние содержания гумуса в почве на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в пространственно ориентированных контурах. (2011 – 2013 гг., т.п №2, №6)

Чернозем обыкновенный (№2, Аткарский район, ООО «ТВС-АГРО»)			Чернозем южный (т.п. №6, Пугачевский район, КФХ «Сарсенбаев Г.Т.»)		
Содержание гумуса, %	Поконтурная урожайность, т/га	Содержание клейковины в зерне, %	Содержание гумуса, %	Поконтурная урожайность, т/га	Содержание клейковины в зерне, %
2,5	2,0	14,8	2,5	1,4	28,4
3,0	2,7	18,0	3,0	1,3	31,2
3,5	2,9	13,2	3,5	1,9	31,6
4,0	2,6	26,0	4,0	2,0	32
4,5	3,0	19,2	4,5	2,5	36
5,0	2,6	17,6			
5,5	4,1	19,6			
6,5	5,1	32,0			
7,0	6,4	32,6			
Коеф. кор. гумуса с	0,92	0,69	Коеф. кор. гумуса с	0,97	0,93

В нашем опыте содержание клейковины в зерне на рабочем участке с содержанием гумуса 7,0% гумуса оказалась в 2,2 раза выше, чем в зерне, полученном на рабочем участке с содержанием гумуса в почве 2,5%. Однако, такая связь наблюдалась в пределах конкретного рабочего участка с присущими для него почвенно-агрохимическими показателями. В пределах

одного поля на тестовом полигоне №6 прослеживается ярко выраженное влияние содержание гумуса на количество содержания клейковины в зерне.

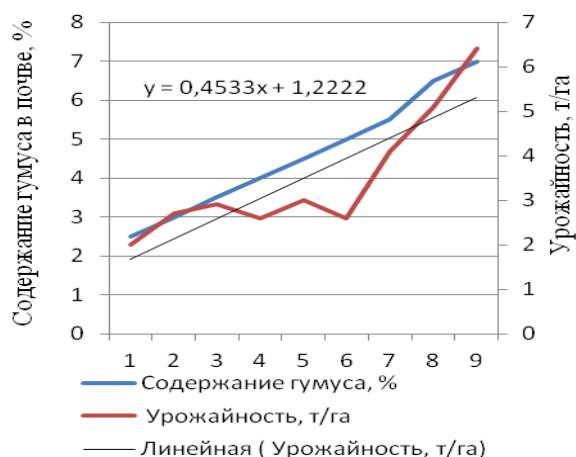


Рисунок 18 – Взаимосвязь урожайности озимой пшеницы с содержанием гумуса в почве (т.п. №2)

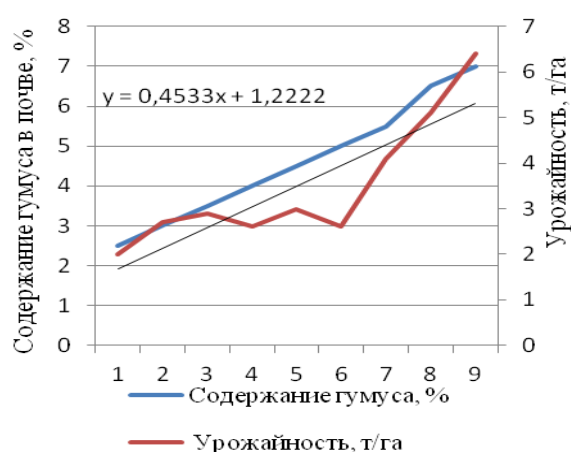


Рисунок 19 – Взаимосвязь урожайности озимой пшеницы с содержанием гумуса на черноземе южном (т.п. №6)

На тестовом полигоне №2 (чернозем обыкновенный) прослеживается лишь общая тенденция увеличения содержания клейковины по мере увеличения содержания гумуса в почве, что повидимому связано с более высокой степенью аридности климата в Левобережье. Из этого следует, что учет разнообразия почвенных, микро- и мезо - климатических особенностей каждого конкретного рабочего участка при обработке почвы является крайне необходимым. Особенно актуально это в тех районах земледелия, где сильно выражена пестрота почвенного плодородия.



Рисунок 20 – Взаимосвязь клейковины в зерне озимой пшеницы с содержанием гумуса в почве (т.п. №2)

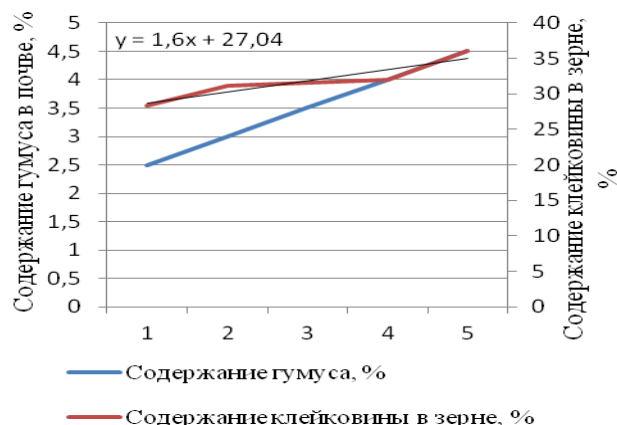


Рисунок 21 – Взаимосвязь клейковины в зерне озимой пшеницы с содержанием гумуса в черноземе южном (т.п. №6)

Достоверность полученных результатов по содержанию клейковины в зерне подтверждается высокой корреляционной связью между содержанием гумуса в почве и содержанием клейковины в зерне ($r=0,69$).

5.3. Эффективность удобрений в условиях выраженной пестроты плодородия .

Каждое поле рассматривается как система, состоящая из индивидуальных рабочих участков с различными биологическими физическими и агрохимическими показателями. В зависимости от последних проводится дифференцированное внесение удобрений. В настоящее время средняя норма удобрений и пестицидов вносится на все поле. Это малоэффективно а иногда и вредно. Новая система предусматривает больший их объем на тех участках, где элементов питания недостаточно, и сокращение его там, где уровень содержания их уже высок. По данным ВИМ и ВИУА, дифференцирование азотных удобрений позволяет довести их эффективность до 15 - 16 кг зерна на 1 кг удобрений (д. в.) (при прогнозируемой окупаемости по высоким технологиям не более 7-8 кг), снизить норму высева семян на 10-20%.

В условиях точного земледелия концепция ландшафтной агрохимии и в частности пространственно ориентированных систем удобрений дает возможность оперативно выяснить уровень плодородия каждого участка поля и выбрать нужные дозы удобрений и средств защиты; уменьшить концентрацию нитратов в грунтовых водах и вымывание избытка питательных веществ; сформировать автоматизированные машинные технологии возделывания сельскохозяйственных культур и современные технические средства для их реализации.

При выявленном уровне плодородия необходимым условием получения высоких урожаев является применение удобрений. Запас продуктивной влаги в период проведения исследований был на низком уровне и не позволил в полной мере использовать внесенные удобрения. Однако математиче-

ская обработка полученных за годы исследований данных эффективности удобрений подтвердила определенное влияние на формирование урожайности рельефа поля.

Трехлетние данные, полученные при внесении удобрений на различных частях единого склона южной экспозиции выявили, определенную связь эффективности удобрений с элементами рельефа (таблица 34, приложение 13-14).

На верхней трансэлювиальной фации склона южной экспозиции урожайность яровой пшеницы в среднем по всем изучаемым вариантам за годы исследований оказалась на 0,12 т/га или 6,6% ниже, чем на нижней (трансаккумулятивной).

Влияние различных доз удобрений на двух фациях оказалось математически доказуемо в различные по влагообеспеченности годы.

Таблица 34 – Влияние удобрений на урожайность яровой пшеницы, т/га (2011–2013гг., т.п №5 – чернозем южный)

Удобрения (А)	Трансэлювиальная фация (В)		Трансаккумулятивная фация (В)		Среднее по фациям	
	Прибавка от удобрений					
	т/га	%	т/га	%	т/га	%
По предшественнику яровая пшеница						
Без удобрений	0,93	–	0,95	–	0,94	–
Naa34	0,3	32,2	0,37	38,9	0,34	36,1
Naa68	0,58	62,3	0,4	42,1	0,49	52,1
Naa102	0,28	30,1	0,71	74,1	0,5	53,1
1т + Naa10	0,41	44,1	0,46	48,4	0,44	46,0
2т + Naa20	0,39	41,9	0,36	37,9	0,38	40,4
По предшественнику многолетние травы						
Без удобрений	1,28	–	1,84	–	1,56	–
Naa34	0,32	25,0	0,28	15,2	0,3	19,2
Naa68	0,47	36,7	0,13	7,0	0,3	19,2
Naa102	0,26	20,3	0,4	21,7	0,33	21,1
1т + Naa10	0,08	6,2	0,22	11,9	0,15	9,6
2т + Naa20	0,14	10,9	0,02	4,3	0,08	5,1
по предшественнику многолетние травы				по предшественнику яровая пшеница		
	HCP _{0,95}	F _T	F _Ф	HCP _{0,95}	F _T	F _Ф
Удобрения (фактор А)	0,057	4,05	354,11	0,063	4,05	4,835
Фации (фактор В)	0,057	4,05	90,09	0,063	4,05	133,66
Взаимосвязь А+В	0,081	2,43	13,041	0,090	4,05	17,387

Рельеф, прежде всего через перераспределение по склоновым фациям влаги и питательных элементов, оказал определенное влияние на эффективность внесенных удобрений.

В среднем по опыту прибавка урожайности яровой пшеницы от применения удобрений по сравнению с неудобренным вариантом (контролем) составила 0,33 т/га, или 30,1%.

Выявлена тесная зависимость урожайности яровой пшеницы с условиями различных фаций.

Прибавка урожайности яровой пшеницы в среднем по двум предшественникам трансэлювиальной фации оказалась на 0,32 т/га, или 30,9 % выше, чем в условиях трансаккумулятивной фации. По предшественнику многолетние травы независимо от фациальной принадлежности эффективность удобрений оказалась на 0,2 т/га, или 30,7 % ниже, чем по предшественнику яровая пшеница.

Уровень обеспеченности почвы различных фаций питательными элементами оказывает определенное влияние на эффективность вносимых удобрений.

Эффективность удобрений на более обеспеченной питательными элементами трансаккумулятивной фации по предшественнику яровая пшеница была на 0,07 т/га, или 6,1 % выше, чем в трансэлювиальной. Постоянное поступлением питательных элементов в процессе разложения растительных остатков многолетних трав в почву и менее выраженные потери их в результате внутрипочвенной миграции способствовали снижению эффективности применяемых доз азотных удобрений. В среднем по трем дозам азотных удобрений их эффективность по предшественнику многолетние травы была на 30,1 % ниже, чем по предшественнику яровая пшеница.

Выявлена роль фаций в формировании эффективности удобрений. Прибавка урожайности яровой пшеницы в среднем по двум предшественникам на трансэлювиальной фации оказалась на 0,32 т/га, или 30,9 % выше, чем

в условиях трансаккумулятивной фации. По предшественнику многолетние травы независимо от фациальной принадлежности эффективность удобрений оказалась на 0,2 т/га, или 30,7 % ниже, чем по предшественнику яровая пшеница.

Экологические условия различных фаций принимают активное участие в дифференциации влияния различных доз удобрений на урожай яровой пшеницы.

В среднем по двум предшественникам на трансэлювиальной фации наиболее эффективным оказалось внесение аммиачной селитры в дозе N_{aa68} кг/га д.в. На трансаккумулятивной фации наибольшая прибавка 0,4 т/га (42,1 %) наблюдалась от внесения N_{aa102} кг/га д.в.

Эффективность использования различных доз удобрений регулировалась предшествующей культурой. В условиях зернопарового севооборота по предшественнику яровая пшеница максимальная прибавка урожая (0,5 т/га) была получена при внесении N_{aa68} и N_{aa102} кг/га д.в, а по многолетним травам значимых различий в действии испытываемых в опыте различных доз азотных удобрений не наблюдалось.

В рамках развития точного земледелия и формирования, пространственно размещенных систем удобрений в агроландшафте на разных тестовых полигонах проведено сравнительное определение эффективности азотных удобрений, как наиболее дефицитных для формирования урожайности яровой и озимой пшеницы.

Удобрения вносились на разных по содержанию гумуса в почве контурах. Точное контурное внутриполевое применение удобрений по единой схеме на различных тестовых полигонах, размещенных на черноземах обыкновенных (т.п. №2) и черноземах южных (т.п. №6) позволило выявить экологические и продуктивные особенности (таблица 35, приложение 15).

В среднем за 3 года исследований урожайность озимой пшеницы на контурах с содержанием гумуса в почве 2,5% была на черноземе обыкновен-

ном (т.п. №2) на 0,8 т/га или 38,7% выше, чем на контуре с содержанием гумуса 3% в зоне распространения чернозема южного (т.п. №6).

Таблица 35 – Влияние удобрений на урожай озимой пшеницы на различных по уровню гумусированности рабочих участках, т/га (2011-2013 гг., т.п №2, №6)

Чернозем обыкновенный (т.п. №2)				Чернозем южный (т.п. №6)			
Фактор (В)	Содержание гумуса в почве, % (фактор А)						
	2,5%	4,0%	5,0%	Среднее	3,0%	4,5%	Среднее
Без удобр.	2,1	2,6	2,6	2,4	1,3	2,0	1,7
Naa34	2,8	3,1	3,4	3,1	1,5	2,2	1,9
Naa68	2,9	3,0	3,8	3,2	1,6	2,5	2,1
Naa102	3,1	3,2	3,9	3,4	1,4	2,3	1,9
Аз.ф. N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂	3,2	3,4	3,4	3,3	1,5	2,3	1,9
Фактор	НСР _{0,95}		F _T	F _φ	НСР _{0,95}		F _φ
А (гумус)	0,35		3,34	13,5*	0,125		110,65*
В (удобрения)	0,45		2,71	10,14*	0,079		17,99*
А+В	–		–	–	0,177		10,26*

В среднем за 3 года исследований урожайность озимой пшеницы на контурах с содержанием гумуса в почве 2,5% была на черноземе обыкновенном (т.п. №2) на 0,8 т/га или 38,7% выше, чем на контуре с содержанием гумуса 3% в зоне распространения чернозема южного (т.п. №6).

Так если в диапазоне от 2,5% до 3,5% (элювиальная фация) в среднем на 1% гумуса приходилось 0,53 т/га урожая, то в диапазоне от 3,5% до 5,0% (трансэлювиальная фация) она составила 0,23т/га. В трансаккумулятивной фации (от 5,5% до 6,5% гумуса) средняя прибавка урожайности увеличилась до 1 т/га, на почве аккумулятивной фации (7,0%) 1,3 т/га. Выявленная закономерность изменения урожайности по гумусовым контурам на черноземе обыкновенном подтвердилась и на черноземе южном (т.п. №6). В диапазоне от 2,5% до 3,5% гумуса на 1% гумуса приходилось 0,5 т/га, а от 2,5% до 4,5% – 1,1 т/га.

Расчеты показали, что в условиях высокого уровня пестроты плодородия повышение гумуса в почве на 1% позволяет увеличить уровень урожайности озимой пшеницы на вариантах без удобрений на черноземе обыкно-

венном в среднем на 0,6 т/га, и соответственно на 0,45 т/га на черноземе южном.

Уровень содержания гумуса в почве оказал определенное влияние и на внутриполевую эффективность вносимых удобрений.

Исследования показали, что в среднем по всем контурам с различным содержанием гумуса в почве эффективность минеральных удобрений по сравнению с вариантом без удобрений составила на черноземе 0,84 т/га или 35,4% , на черноземе южном соответственно 0,22 т/га или 15,3%.

Таким образом, эффективность вносимых удобрений в годы проведения исследований на черноземных почвах была на 0,62 т/га или 20,1% выше, чем на черноземе южном.

Из испытываемых доз минеральных удобрений, независимо от подтипа почв, на которых проводились опыты, эффективность их в условиях быстрого нарастания температур в ранневесенний период и отсутствия выпадающих осадков не позволила реализовать их потенциальные возможности для повышения урожайности. Незначительное преимущество в действии на урожайность по сравнению с другими вариантами, выявлено при применении Naа68 аммиачной селитры и $N_{32}P_{32}K_{32}$ азофоски.

В сложившихся погодных условиях минеральные удобрения оказали неоднозначное влияние на качество зерна озимой пшеницы (таблица 36).

В условиях черноземных почв в экстремальных погодных условиях уровень содержания клейковины в зерне на варианте без удобрений на рабочем контуре с содержанием гумуса 5% было на 3% выше, чем на контуре с содержанием гумуса в почве 2,5%.

При этом качество клейковины в зерне на рабочем контуре с 2,5% содержания гумуса относится к 1-3 группе качества, а на контуре с 5% гумуса к 4-5 группе качества.

Удобрения оказали большое влияние на процесс формирования содержания клейковины в зерне.

На удобренных вариантах количество клейковины в зерне озимой пшеницы по сравнению с зерном, полученном на варианте без удобрений, увеличилось на рабочем контуре с содержанием гумуса 2,5% в 1,8 раза, а на контуре с 5% всего лишь на 2%.

Таблица 36 – Влияние удобрений на качество зерна озимой пшеницы на различных по уровню гумусированности рабочих участках (2011–2013гг., т.л. №2 – чернозем обыкновенный)

Удобрения	2,5% гумуса			5% гумуса		
	Урожайность, т/га	Содержание клейковины, %	ИДК, ед.пр.	Урожайность, т/га	Содержание клейковины, %	ИДК, ед.пр.
Без удобр.	2,1	15	67	2,6	18	81
Naa34	2,8	34	87	3,4	18	80
Naa68	2,9	34	87	3,8	19	80
Naa102	3,1	20	88	3,9	23	88
Аз.ф. N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂	3,2	20	85	3,4	20	86
В ср. по удобр.	3,0	27	87	3,6	20	83

Связь урожайности с содержанием клейковины в зерне, на почве с содержанием гумуса 2,5% оказалась слабой ($r=0,29$), а на почве с 5% содержанием гумуса средней ($r=0,65$). На контуре с содержанием гумуса 2,5% наиболее эффективным в формирование клейковины в зерне оказалось действие аммиачной селитры в дозах 100 и 200 кг/га. На контуре с содержанием гумуса 5% в почве наибольшее содержание клейковины в зерне получено от внесения Naa102 кг аммиачной селитры.

На черноземе южном закономерность изменения качества полученного зерна озимой пшеницы в различных экологических условиях достаточно заметно отличается от процесса формирования этого показателя в черноземной зоне (таблица 37, приложение 16).

В среднем содержание клейковины в зерне озимой пшеницы по всем вариантам на черноземе южном оказалось на 14,1% выше, чем на черноземных почвах

На не удобренном варианте, размещенном, на рабочем контуре с содержанием в почве гумуса 3,0%, уровень содержания клейковины в зерне

озимой пшеницы был на 4,4% выше, чем на 4,5% контуре. При этом ИДК в зерне независимо от содержания гумуса находилось в одной группе, и клейковина характеризовалась как удовлетворительно слабая.

Таблица 37 – Влияние удобрений на качество зерна озимой пшеницы на различных по уровню гумусированности рабочих участках (2011 – 2013 гг., т.п. №6 – чернозем южный)

Удобрения	3,0% гумуса			4,5% гумуса		
	Урожайность, т/га	Содержание клейковины, %	ИДК, ед.пр.	Урожайность, т/га	Содержание клейковины, %	ИДК, ед.пр.
Без удобр.	1,3	36,0	101	2,0	31,6	90
Naa34	1,5	38,4	98	2,2	36,0	101
Naa68	1,6	38,8	95	2,5	35,2	89
Naa102	1,4	31,2	95	2,4	38,0	100
Аз.ф.N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂	1,5	38,8	104	2,4	38,0	100
Ср по удобр	1,5	37	98	2,4	36,8	97

Действие удобрений на процесс формирования клейковины оказалось неоднозначной.

На черноземе южном высокая коррелятивная связь ($r=0,75$) между урожайностью, полученной, на удобренных вариантах и содержанием клейковины в зерне отмечена на контуре с содержанием гумуса 4,5%. На менее плодородной почве (содержание гумуса 3,0%), эта связь оказалась средней ($r= 0,59$), что указывает на невысокую эффективность минеральных удобрений.

Таким образом, на черноземе обыкновенном прибавка урожая озимой пшеницы в диапазоне содержания гумуса в почве от 2,5% до 3,5% приходилось 0,9 т/га, а от 4,5 до 7,0% - 1,16 т/га. На черноземе южном в диапазоне от 2,5% до 3,5% на 1% гумуса приходилось 0,5 т/га, а от 2,5% до 4,5% - 1,1 т/га.

Повышение гумуса в почве на 1% позволяет увеличить уровень урожайности озимой пшеницы на вариантах без удобрений на черноземе обыкновенном на 0,9-1,1 т/га, на черноземе южном – 0,55 т/га.

В среднем по всем гумусовым контурам эффективность минеральных удобрений под озимой пшеницей по сравнению с вариантом без удобрений

составила на черноземе обыкновенном 0,84 т/га или 35,4%, а на черноземе южном соответственно 0,22 т/га или 15,3%.

На черноземе обыкновенном удобрения увеличили содержание клейковины в зерне озимой пшеницы на рабочем контуре с 2% гумуса в 1,8 раза, а на контуре с 5% всего лишь на 2%.

На черноземе южном уровень содержания клейковины в зерне озимой пшеницы на гумусовом контуре 3% был на 4,4% выше, чем на 4,5% контуре.

5.4 Расчетный баланс минерального азота (нитратного) под озимой пшеницей в условиях различного содержания гумуса в почве

Материалы собственных исследований автора, изложенные в главах четвертой и пятой, а также анализ результатов научных исследований, выполненный в различных почвенно-климатических зонах страны и за рубежом, показывают, что одна из основных причин слабой обеспеченности баланса минерального азота это относительно высокий уровень урожайности на фоне глубокой выпашанности пашни и активного проявления поверхностной и внутрипочвенной водной эрозии, которые привели к отрицательному структурному изменению в гумусе, как основного поставщика азота в почву [104, 113, 201, 202, 217, 218].

На почвах, подверженных эрозии, деградация пахотного слоя идет еще быстрее. По наблюдениям И.Ф. Медведева, только от водной эрозии ежегодные потери твердой фазы почвы на типичных и обыкновенных черноземах составляют 8-10 т/га, южных черноземах – 5 т/га. По расчетам данного автора ежегодно с полей Саратовской области в гидрографическую сеть поступает 0,7 – 0,9 км³ воды, которая уносит с собой около 30 млн. т мелкозема. В нем содержится примерно 1,5 млн. т гумуса, 70-80 тыс. т азота, 40-50 тыс. т фосфора, 500 тыс. т калия и 850 тыс. т кальция.

На современном этапе развития земледелия одним из важнейших факторов регулирования плодородия почв являются удобрения. Систематиче-

ское внесение оптимальных доз минеральных удобрений позволяет оптимизировать баланс азота и достичь его уравновешенного состояния.

Дозы минеральных удобрений, необходимые для поддержания оптимального баланса азота рассчитывали с учетом уровня оптимального возврата, который по данным стационарного опыта ГНУ НИИСХ Юго-Востока составляет 85% от выноса [199 (б)]

В разрешении этого вопроса наиболее важным является определение оптимальных доз внесения азотных удобрений в подкормку озимой пшеницы и определение их взаимосвязей с уровнем содержания гумуса в почве.

Для оценки эффективности вносимых удобрений и связи их с уровнем почвенного плодородия, используя данные 4 и 5 главы на примере озимой пшеницы, которая возделывалась на черноземе обыкновенном для рабочих участков с содержанием гумуса в почве 2,5%; 4,0; и 5% был рассчитан баланс азота.

Для расчета согласно стандартной методике [127] были взяты исходные данные естественного поступления азота в почву: 5 кг с атмосферными осадками, 5 кг за счет симбиотической азотфиксации и 3,8 кг/га с семенами. В сумме этот показатель составил 13,8 кг/га. На фоне вносимых удобрений 5 кг минерального азота расходовалось на оптимизацию микробиологической деятельности в почве. Таким образом, для расчета баланса азота приход на вариантах с применением удобрений выражался в сумме доза вносимого удобрения + естественный приход азота в почву (18,8 кг/га). Соотношение зерна с соломой определялось при структурном анализе снопового материала. Для озимой пшеницы на варианте с содержанием гумуса 2,5% коэффициент соотношения между зерном и соломой составил 1,5, на 4,0% гумуса 1,6 и на 5% гумуса 1,7.

Анализ расчетного баланса выявил особенности действия азотного удобрения на урожайность озимой пшеницы в условиях различного уровня гумусированности почвы. Для поддержания баланса азота, повышения урожайности и качества зерна озимой пшеницы в рамках одного поля были тес-

тированы 3 подкормочные дозы азотного удобрения: Naa34, Naa68, Naa102 кг/га д.в. Все три дозы испытывались на почве с содержанием гумуса: 2,5%, 4,0% и 5,0%.

При расчете баланса элементов питания нами учитывались все приходные и расходные статьи. Расчеты показали, что при существующих уровнях урожайности сельскохозяйственных культур без применения удобрений баланс складывается с большим дефицитом (таблица 38, приложения 24,25,26).

Таблица 38 – Баланс азота под озимой пшеницей на черноземе обыкновенном (2011-2013 гг., т.п.№2)

Дозы удобрений	Статьи баланса	Содержание гумуса в почве, %		
		2,5	4,0	5,0
Naa34	приход, кг/га	52,8	52,8	52,8
	расход, кг/га	84,6	90,0	111,2
	баланс, кг/га	-31,8	-37,2	-58,4
	интенсивность баланса, %	62,4	58,6	47,5
Naa68	приход, кг/га	86,8	86,8	86,8
	расход, кг/га	111,8	100,5	130,8
	баланс, кг/га	-25,0	-13,7	-44,0
	интенсивность баланса, %	77,6	86,4	66,3
Naa102	приход, кг/га	120,8	120,8	120,8
	расход, кг/га	105,9	114,9	146,2
	баланс, кг/га	+14,9	+5,9	-25,4
	интенсивность баланса, %	114,1	105,1	82,6

Результаты анализа полученных данных показали, что при внесении N34 независимо от уровня содержания в почве гумуса был получен отрицательный баланс азота. Дефицитность баланса азота увеличивается по мере увеличения содержания гумуса в почве. При этом снижалась интенсивность или обеспеченность баланса азота от 62,4% на низком уровне содержания гумуса до 47,5% на 5,0 %, содержания гумуса.

Двойная доза азотного удобрения за счет высокого уровня урожайности озимой пшеницы позволила снизить дефицитность баланса, но получить положительный баланс азота на всех уровнях содержания гумуса.

Уровень оптимального возврата 86,4% был получен только на почве с содержанием 4,0% гумуса. Наиболее низкий возврат азота 66,3% был зафик-

сирован на почве с содержанием 5,0% гумуса. Основная причина этого – относительно высокий уровень урожайности озимой пшеницы и вынос зерном и соломой минерального азота.

Наиболее высокий урожай пшеницы и содержание в нем минерального азота был получен при внесении азотного удобрения в дозе Naa102. Внесение этой дозы позволило получить положительный баланс азота на пашне с содержанием 2,5% и 4,0% гумуса и отрицательный на фоне 5,0% содержания гумуса. Практически на всех уровнях содержания гумуса был получен близкий к нормативному (85%) возврат азота в почву.

Таким образом, подкормку озимой пшеницы следует проводить с учетом содержания гумуса в почве. Только при внесении Naa102 кг/га д.в. в подкормку формирует бездефицитный баланс азота на почвах с содержанием 2,5 и 4,0% гумуса и близким по уровню к нормативу возврата азота на фоне содержания гумуса 5,0%.

Глава 6. Эколого-энергетическая и экономическая эффективность применения удобрений под зерновые культуры

6.1. Влияние рельефа на энергетическую эффективность удобрений при возделывании яровой пшеницы

Применение удобрений и получение качественной продукции связано с ростом затрат техногенной энергии. Повышение урожайности и качества зерна является основным аспектом повышения прибыли от реализации полученной продукции.

В условиях точного земледелия одним из регулирующих факторов эффективности удобрений является местоположение поля, на котором возделывается культура, а также уровень его плодородия [220,221, 222,117]. Анализ затраченной и полученной через урожай энергии дает объективную оценку эффективности разрабатываемым мероприятиям в различных экологических условиях.

Расчеты энергетической эффективности показывают, что затраты техногенной энергии при возделывании зерновых культур в зернопаровом севообороте определялись рельефом и спектром вносимых органических и минеральных удобрений (таблица 39).

В условиях чернозема южного (т.п. №5) на варианте без применения удобрений сбор продукции при возделывании яровой пшеницы сорта Воевода на нижней трансаккумулятивной фации склона южной экспозиции был на 13,3% выше, чем верхней трансэлювиальной фации, что отразилось на величине эколого-энергетической эффективности. Более высокий уровень энергетического потенциала почвы на 288 ГДж или 19,7% и повышенная обеспеченность питательными элементами и влагой за счет их миграции с верхней фации склона в нижнюю способствовало созданию более комфортные условия для роста и развития яровой пшеницы. Поэтому на верхней трансэлюви-

альной фации энергетическая эффективность возделывания яровой пшеницы была на 3,9 единицы ниже, чем на нижней трансаккумулятивной фации.

Таблица 39 – Энергетическая эффективность производства яровой пшеницы в первом звене севооборота (2012 – 2013гг., т.п №5 – чернозем южный)

Показатель	Ед. измерения	Варианты с удобрениями					
		б/у	Наа 34	Наа 68	Наа 102	1т со- ломы+ Наа10	2т со- ломы+ Наа 20
Сбор зер.ед. с 1 га севооборотной площади	ц	15* 17**	19 21	22 24	20 22	17 20	17 20
Накопленная энергия фитомассы, Е _ф	ГДж/га	57613 65295	72977 80658	84499 92181	76817 84499	65295 76817	65295 76817
Затраты антропогенной энергии, Е _а	МДж/га	5,48 5,74	8,62 8,88	11,62 11,89	13,96 14,22	12,04 12,44	18,34 18,74
Энергоемкость продукции	МДж/ц	133 133	271 271	370 370	507 507	504 527	874 898
Энергетическая эффективность производства, ЭЭ	Ед.-	28,8 32,7	14,2 14,9	10,4 11,0	7,6 7,9	7,6 8,6	4,4 5,0

Примечание: * – верхняя трансэлювиальная часть склона, ** – нижняя трансаккумулятивная часть склона

Выявленная закономерность формирования энергетической эффективности при возделывании яровой пшеницы на различных фациях рельефа оказалась справедливой и для полученной энергетической эффективности при оценке различных видов и доз удобрений.

В среднем по всем удобренным вариантам энергетическая эффективность на нижней трансаккумулятивной фации была на 0,48 единицы или 6,5% выше, чем на верхней трансэлювиальной фации.

Энергетическая эффективность, в среднем по всем удобренным вариантам, была в 4 раза ниже, чем на неудобренном контроле. Антропогенные затраты энергии при возделывании пшеницы – основная статья энергетических расходов. В этих условиях даже повышенная энергоемкость полученной продукции на удобренных вариантах не оказала существенного влияния на

повышение энергетической эффективности по сравнению с неудобренным контролем.

Согласно методики «Ресурсно-экологической оценки эффективности земледелия на биоэнергетической основе» подсчета эффективными приемами считаются те приемы, если полученный расчетный показатель энергетической эффективности превышает 10 единиц.

Расчеты показали, что только две дозы азотных удобрений Naa34 и Naa68 оказались энергетически эффективными.

Из внесенных удобрений наиболее низкая энергетическая эффективность была получена при внесении в паровом поле соломы. В среднем по двум дозам соломы энергетическая эффективность при внесении соломы была в 4,2 раза ниже, чем на вариантах с минеральными удобрениями.

Рельеф заметно дифференцировал показатели энергетической эффективности. На вариантах с внесением соломы этот показатель, полученный на нижней фации был на 0,45 единиц или 18,7% выше, чем на верхней фации. На вариантах с минеральными удобрениями показатель энергетической эффективности снизился до 5,6% в пользу нижней фации. Различия в уровнях энергетической эффективности между двумя фациями склона еще раз подтверждают активность как поверхностных, так и внутрпочвенных миграционных процессов. Более высокая обеспеченность питательными веществами и влагой нижней трансаккумулятивной фации по сравнению с верхней трансэлювиальной фацией выражается в более высоком уровне урожайности и эколого-энергетической эффективности возделывания яровой пшеницы. Полученные данные могут послужить обоснованием для формирования рабочих участков в реализации принципов точного земледелия.

Анализ применяемых доз удобрений выявил, что наиболее энергосберегающими в опытах оказался вариант с внесением аммиачной селитры Naa 34. При производстве яровой пшеницы затраты антропогенной энергии в этом варианте, в среднем по двум фациям составили 8,75 ГДж/га, при энергетической эффективности 14,5, что в 2,1 раза ниже, чем на варианте без при-

менения удобрений. При внесении дозы аммиачной селитры Naa68 энергетическая эффективность снизилась до 10,7, что в 2,87 раза ниже контроля. Таким образом, с повышением дозы внесения азотного удобрения энергетическая эффективность падает. Основная причина низкого уровня реализации вносимых удобрений, особенно на вариантах с повышенными дозами (Naa102), слабая обеспеченность корнеобитаемого слоя почвы, прежде всего свободной влагой.

6.2. Влияние уровня содержания гумуса в почве на энергетическую и экономическую эффективность вносимых удобрений

При разработке точного земледелия и обосновании рабочих участков (полей) содержание гумуса в почве, наряду с коэффициентом изрезанности территории является одним из важнейших показателей, который, как правило, отражает положение рабочего участка на местности.

Возделываемые культуры, в частности озимая пшеница, остро реагируют на изменение экологических условий ее возделывания, что выражается в уровне сбора ее биопродуктивности.

Оценка производительной способности почвы и эффективности вносимых удобрений через энергетическую эффективность возделываемых культур на рабочих участках с различным содержанием гумуса дает возможность выйти на формирование экономически и энергетически обоснованных систем удобрений [2, 5].

Дифференцированное применение удобрений с учетом вариабельности показателей плодородия отдельных участков поля не предусматривает выравнивания показателей плодородия почвы по всему полю, а направлено на рациональное применение удобрений. Использование такого приема внесения удобрений позволит, избежать экологического загрязнения и добиться более высокого уровня рентабельности.

Наиболее активно реагируют на гумусовое состояние почвы посевы озимой пшеницы.

Проведенные в 2011 и 2013 гг. краткосрочные опыты с минеральными удобрениями на тестовых полигонах №2 и №6 выявили определенные закономерности их влияния на биопродуктивность озимой пшеницы.

На тестовом полигоне №2 в Аткарском районе на полях ООО «ТВС-АГРО», размещенных на черноземе обыкновенном среднегумусном среднемощном тяжелосуглинистом эффективность минеральных удобрений определялась на трех рабочих участках с содержанием гумуса 2,5% , 4,0% и 5,0%. В натуре площадь занимаемая тремя рабочими участками соответственно составляла 0,8- 20,6- 26,7 га (таблица 40, приложение 17,18,19).

Таблица 40 – Энергетическая эффективность производства озимой пшеницы на различных по уровню гумусированности рабочих участках (2011 – 2013 гг., т.п. №2 – чернозем обыкновенный)

Показатель	Ед. измерения	Варианты с удобрениями				
		б/у	Naa 34	Naa 68	Naa 102	N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂
Сбор зерна с 1 га севооборотной площади	ц	20,6*	27,6	29,3	31,1	31,5
		26,4**	30,5	29,8	32,0	33,9
		26,0***	34,4	38,2	39,4	34,3
Накопленная энергия фитомассы, Е _ф	ГДж/га	79,1	106,0	112,6	119,5	121,0
		112,3	117,2	114,5	122,9	130,3
		99,9	132,1	146,7	161,2	131,8
Затраты антропогенной энергии, Е _а	ГДж/га	5,8	9,5	12,6	15,8	10,4
		6,4	9,8	12,7	15,9	10,7
		6,4	10,3	13,2	16,3	10,4
Энергоемкость продукции	МДж/ц	111	218	313	396	222
		112	208	309	388	214
		89	197	254	325	202
Энергетическая эффективность производства, ЭЭ	Ед.-	34,6	17,6	12,3	9,7	17,3
		38,3	18,5	12,4	9,9	18,0
		34,6	19,5	15,1	12,6	19,1

Примечание: * – На 2,5% гумуса, ** – на 4,0% гумуса, *** – на 5,0% гумуса

На неудобренном варианте максимальный урожай биомассы озимой пшеницы в среднем за два года был получен на рабочем участке с содержанием гумуса 4,0%. По сравнению с рабочим участком, имеющим уровень гу-

муслированности 2,5%, прибавка зерновых единиц составила 5,8 ц /га или 28,1%.

На более гумуслированном рабочем участке (5,0%) наблюдалась тенденция к снижению (0,4 ц/га) биопродуктивности по сравнению с уровнем биопродуктивности, полученной на участке с содержанием гумуса 4,0%.

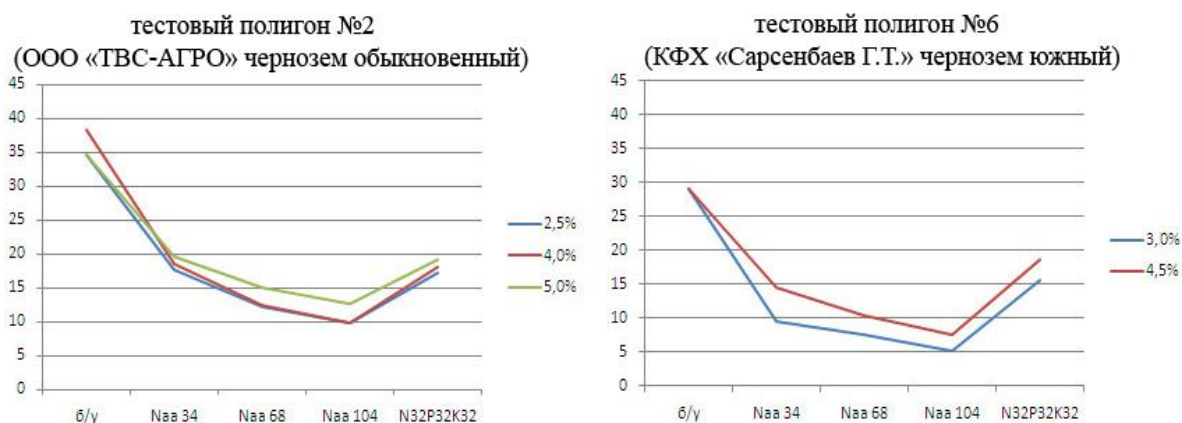
На удобренных вариантах аммиачной селитрой в дозах Naa34-68-104 кг.д.в. на га отмечается четкая закономерность повышения уровня сбора зерновых единиц по мере повышения доз вносимых удобрений и содержания в почве гумуса.

В соответствии с полученной биопродуктивностью сформировалась энергия фитомассы. Энергоемкость полученной продукции снижалась по мере увеличения доз вносимых азотных удобрений и содержания гумуса в почве. Полученный коэффициент энергетической эффективности при внесении различных доз и форм удобрений указывает на высокую эффективность их применения.

Наиболее высокий коэффициент энергетической эффективности был получен на варианте без применения удобрений. В среднем по трем гумусным фонам он составил 36 единиц, тогда как в среднем по всем удобренным вариантам 17,8. Из применяемых удобрений наиболее высоким он оказался на варианте при внесении Naa34 и минимальным при внесении Naa102 аммиачной селитры (рисунок 21).

Контур с содержанием в почве гумуса 5,0% способствовал формированию более высокого уровня коэффициента экологической эффективности, чем другие гумусные контура. По сравнению с контуром с содержанием гумуса 2,5% произошло увеличение на 16,8%, с контуром 4,0% гумуса – на 12,1%.

Сопряженный с опытом, размещенным на черноземе обыкновенном, был заложен опыт на черноземе южном (КФХ «Сарсенбаев Г.Т.», Пугачевский район). Площадь, занимаемая контурами с содержанием гумуса 3,0% - 12 га 4,5% -32,3 га.



Энергетическая эффективность производства, ед

Рисунок 21– Энергетическая эффективность производства зерна озимой пшеницы с различными уровнями гумусированности почвы (2011 – 2013 гг., т.п. №2, №6)

Сбор зерновых единиц черноземе южном т.п. №6 в среднем по опыту оказался на 0,8 т/га, а на удобренных вариантах соответственно на 1,4 т/га ниже, чем на черноземе обыкновенном (в среднем по опыту т.п. №6 и №2).

По накопленной энергии фитомассой наиболее выгодным оказался варианта с внесением Наа68 аммиачной селитры (95,2 ГДж) и комплексного удобрения азофоски (89,9 ГДж). Остальные удобренные варианты и вариант без удобрений по величине накопленной энергии фитомассой уступали вышеназванным вариантам.

Уровень гумусированности рабочих участков оказал большое влияние на процесс накопления энергии фитомассой. В среднем по удобренным вариантам накопленной энергии фитомассой на рабочем участке с содержанием гумус 4,5 был на 33,3 ГДж или 58,5% выше, чем на участке с содержанием гумуса 3,0% (таблица 41, приложение 20, 21).

По мере роста биопродуктивности озимой пшеницы увеличивается ее энергоемкость. На рабочем участке с содержанием гумуса минимальной она оказалась на варианте без применения удобрений, а максимальной при внесении азотных удобрений. По мере роста доз внесения аммиачной селитры

энергоёмкость продукции заметно увеличивается. Так при внесении Naa34 она составила 407 МДж, что на 103 МДж или 25,3% ниже, чем на варианте с внесением Naa68 и соответственно на 348 МДж и 85,5% чем на варианте Naa102 кг. д.в. аммиачной селитры.

Таблица 41. – Энергетическая эффективность производства озимой пшеницы на различных по уровню плодородия рабочих участках (2011 – 2013 гг., т.п. №6 – чернозем южный)

Показатель	Ед. измерения	Варианты с удобрениями				
		б/у	Naa 34	Naa 68	Naa 102	N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂
Сбор зер.ед. с 1 га севооборотной площади	ц	1,3*	1,5	1,6	1,4	1,5
		2,0**	2,2	2,5	2,3	2,3
Накопленная энергия фитомассы, E _ф	ГДж/га	49,9	55,8	59,9	54,5	57,3
		77,6	86,0	95,2	89,6	89,9
Затраты антропогенной энергии, E _а	ГДж/га	5,2	9,4	11,44	14,2	7,18
		6,1	9,4	12,6	15,4	8,3
Энергоёмкость продукции	МДж/ц	133	407	510	755	249
		119	264	370	512	206
Энергетическая эффективность производства, ЭЭ	Ед.-	28,8	9,4	7,5	5,1	15,5
		29,1	14,6	10,4	7,5	18,6

Примечание: * на 3,0% гумуса, ** на 4,5% гумуса

На более гумусированном рабочем участке (4,5% гумуса) уровень энергоёмкости полученной продукции был в среднем по всем удобренным вариантам на 142 МДж или 29,6% ниже, чем на менее гумусированном участке. Из удобренных вариантов наибольшей энергоёмкостью полученной продукции отличался вариант с внесением аммиачной селитры в дозе Naa102 кг д.в. на га аммиачной селитры.

Расчет коэффициента энергетической эффективности показал, максимальная энергетическая эффективность была получена на варианте без применения удобрений. Однако различия в уровнях плодородия почв на этом варианте не отразились на его величине.

В среднем по всем удобренным вариантам коэффициент энергетической эффективности составил на рабочем участке с низким уровнем гумусированности почвы 8,4, а с высоким – 12,8 ед. Таким образом, чем больше содержится в почве гумуса, тем выше коэффициент энергетической эффективности. Достоверный коэффициент энергетической эффективности (>10) был получен на вариантах без внесения удобрений, а также на всех удобренных вариантах рабочего участка с повышенным содержанием гумуса и на варианте с внесением комплексного удобрения азофоски.

Окупаемость 1 кг д. в. на га внесенного удобрения один из важнейших показателей эффективности применяемых удобрений (таблица 42).

Таблица 42 – Окупаемость 1 кг д.в. удобрения полученной зерновой продукцией, кг (2011 –2013 гг., т.п №2, №6)

Дозы вносимых удобрений	т.п № 2 ООО «ТВС-АГРО»			т.п №6 КФХ «Сарсенбаев Г.Т.»	
	Содержание гумуса в почве				
	2,5%	4,0%	5,0%	3,0%	4,5%
	Окупаемость 1 кг.д.в. удобрения прибавкой зерновой продукции, кг				
Наа 34	20,6	12,1	31,8	5,9	6,5
Наа 68	12,8	5,0	17,9	4,4	6,8
Наа 102	10,3	5,5	13,1	1,0	3,0
Аз.ф. N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂	11,4	7,8	8,8	2,2	3,3

Расчеты показали, что максимальная окупаемость 1 кг д.в. удобрения получена при внесении аммиачной селитры в дозе Наа34. Каждый внесенный кг чистого азота на черноземной почве давал возможность в среднем по всем вариантам получить 21,5 кг зерна. Увеличение дозы вносимых удобрений не привело к повышению окупаемости удобрений. Так на варианте с внесением Наа68 окупаемость в среднем по всем рабочим участкам на черноземной почве составила 11,9 кг, а на варианте с максимальной дозой азотного удобрения 9,6 кг.

На черноземе южном т.п. №6 на рабочих участках с содержанием гумуса в почве 3,5% и 4,5% наибольшая окупаемость была получена на варианте с внесением Наа34. На каждый внесенный кг.д.в. азотного удобрения была

получена прибавка а среднем по опыту 6,2 кг зерна, что на 4,2 кг зерна или 67,7% больше чем от максимально внесенной дозы Naa102 аммиачной селитры. Окупаемость от внесения двойной дозы аммиачной селитры Naa68 и азофоски N32P32K32 оказались менее рентабельными по сравнению с вариантом Naa34 на 0,6 кг и 3,5 кг соответственно. По мере увеличения дозы внесенного удобрения окупаемость 1 кг удобрения, также как и на черноземной почве, падает.

Таким образом, в условиях неоднородного рельефа идет дифференциация показателя энергетической эффективности. На вариантах с внесением соломы этот показатель, полученный на нижней фации, был на 0,45 единиц или 18,7% выше, чем на верхней фации, а на вариантах с минеральными удобрениями показатель энергетической эффективности снизился до 5,6% в пользу нижней фации. Наиболее энергосберегающими в опытах оказался вариант с внесением Naa 34.

На удобренных вариантах аммиачной селитрой в дозах Naa34-68-102 кг.д.в./га отмечается четкая закономерность повышения уровня сбора зерновых единиц по мере повышения доз вносимых удобрений и содержания в почве гумуса, а подкормка комплексным удобрением (азофоской) оказалась наиболее эффективной. Из применяемых удобрений наиболее высоким коэффициент энергетической эффективности оказался на варианте при внесении Naa34 аммиачной селитры.

Сбор зерновых единиц на черноземе южном т.п. №6 в среднем по опыту оказался на 0,8 т/га, а на удобренных вариантах соответственно на 1,4 т/га ниже, чем на черноземе обыкновенном. Достоверный коэффициент энергетической эффективности (>10) был получен на вариантах без внесения удобрений, а также на всех удобренных вариантах рабочего участка с повышенным содержанием гумуса и на варианте с внесением комплексного удобрения азофоски. По мере увеличения дозы внесенного удобрения окупаемость 1 кг удобрения, также как и на черноземе обыкновенном падает.

6.3. Экономическая эффективность от применения минеральных удобрений

Расчет экономической эффективности применения минеральных удобрений проводился при возделывании озимой пшеницы с учетом уровня содержания гумуса в почве и географического размещения опытов.

При расчете экономической эффективности были использованы сложившиеся в 2011-2012 гг. цены на зерно и удобрения (годовой отчет министерства сельского хозяйства Саратовской области за 2012 год).

Величина условно чистого дохода и уровня рентабельности – показатели, которые наиболее полно характеризуют экономику возделывания озимой пшеницы в различных экологических условиях (таблица 43, рисунка 23, 24, приложение 22, 23).

Таблица 43 – Влияние уровня содержания гумуса на экономическую эффективность минеральных удобрений под озимую пшеницу (т.п. №2 – чернозем обыкновенный, т.п. №6 – чернозем южный)

Варианты с удобрениями	Содержание гумуса в почве, %	Суммарный чистый доход (гумус+ удобрения)	Суммарный чистый доход (от удобрений)	Уровень рентабельности
Чернозем обыкновенный				
Без удобрений	2,5	4679	–	17,8
	4,0	7779	–	142,5
	5,0	7779	–	142,5
В среднем по удобрениям вариантам	2,5	8036	3360	125,1
	4,0	9124	1345	179,8
	5,0	11914	4135	312,2
Чернозем южный				
Без удобрений	3,0	3463	–	-46,0
	4,5	9819	–	135,4
В среднем по удобрениям вариантам	3,0	3059	404	-54,5
	4,5	10550	731	134,9

Расчеты показали, что выше обозначенные показатели находятся под большим влиянием уровня гумусированности почвы и применяемых удобрений в различных географических условиях.

На черноземе обыкновенном, на вариантах без применения удобрений величина условно чистого дохода на почве с содержанием гумуса 4 и 5% по сравнению с 2,5% гумуса увеличилась на 3100 руб/га или 66,2%, при этом уровень рентабельности вырос соответственно в 8 раз.

На черноземах южных, по сравнению с черноземом обыкновенным, отмечается более резкая дифференциация в формировании условно чистого дохода. Так увеличение содержания гумуса на неудобренном варианте с 3,0 до 4,5 привело к росту условно чистого дохода на 6356 руб/га или в 2,8 раза, что на примерно в 4 раза выше, чем на черноземе обыкновенном.

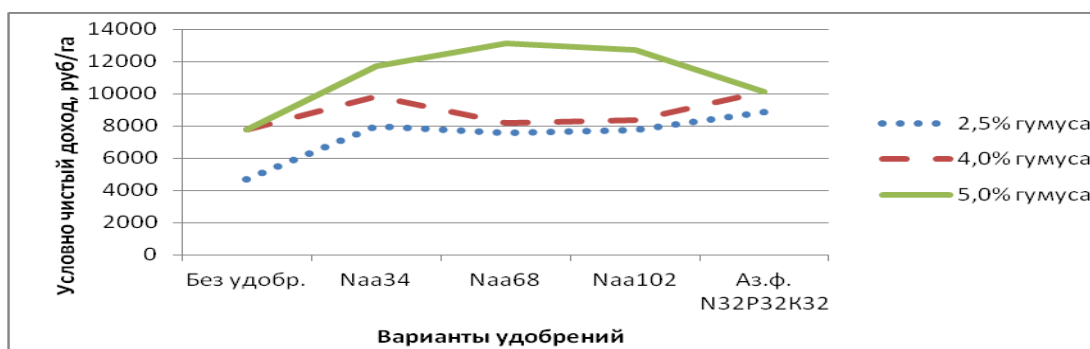


Рисунок 23 – Влияние гумуса и удобрений на формирование условно чистого дохода в условиях чернозема обыкновенного (т.п. №2 – чернозем обыкновенный)

Возделывание озимой пшеницы на черноземе южном в каштановой зоне на почве с содержанием гумуса 3,0% оказалось нерентабельным, а на варианте с содержанием 4,5% гумуса уровень рентабельности составил 135,4%

Экономический анализ результатов влияния гумуса и удобрений на формирование условно чистого дохода, независимо от места размещения опытов, выявил преимущество гумуса в его формировании.

На черноземе обыкновенном в среднем по всем удобренным вариантам доля условно чистого дохода в общей его сумме составила всего лишь 30,4%. В среднем по гумусовым неудобренным вариантам условно чистый доход составил 6746 руб/га, тогда как от удобрений эта величина была в 1,8 раза ниже (2946 руб/га).

На черноземе южном в более засушливых условиях, чем на черноземе обыкновенном разрыв между величиной условно чистого дохода полученного от гумуса и удобрений был выше. На варианте, где почва содержала 3,0% гумуса условно чистый доход от гумуса был в 6,6 раз, а на варианте с содержанием гумуса 4,5% - в 13,4 раза выше, чем в среднем по всем дозам внесенных удобрений (рис.24).

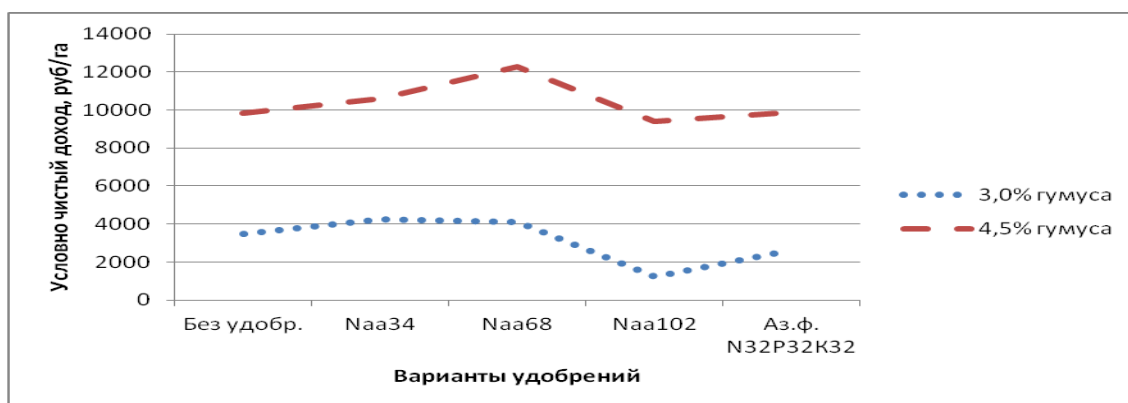


Рис.24. Влияние гумуса и удобрений на формирование условно чистого дохода в условиях чернозема южного (т.п №6 – чернозем южный)

В среднем по удобренным вариантам доля условно чистого дохода в общей сумме условно-чистого, полученного на варианте с применением удобрений составила 8,3%, что в 3,6 раза ниже, чем на черноземе обыкновенном.

Уровень рентабельности применения удобрений в среднем по всем удобренным вариантам на черноземе обыкновенном составил 205,7, а на черноземе южном каштановой зоны всего лишь 40,2. При этом на варианте с 3,0% гумуса на черноземе южном применение удобрений оказалось неэффективным.

Анализ данных показал, что наибольший сбор зерна озимой пшеницы в условиях чернозема обыкновенного был получен на контурах с более высоким содержанием гумуса. В этих условиях наибольший условно чистый доход с 1 га пашни был получен при использовании двойной дозы азофоски на контурах с содержанием гумуса 2,5% и 4,0%, а минимальный при использовании двойной дозы аммиачной селитры (Naa68) на контуре с содержанием

гумуса 2,5% и 4,0% (приложение 22). Однако при повышении содержания гумуса до 5,0% более эффективным в формировании условно чистого дохода оказалось применение двойной дозы аммиачной селитры (Naa68) – 13139 руб./га. Основная причина увеличения условно чистого дохода на более гумусированных почвах – это рост продуктивности озимой пшеницы за счет более высокой обеспеченности почв элементами питания растений.

Наилучшие показатели уровня рентабельности оказались на контуре с 5,0% гумуса от внесения двойной дозы аммиачной селитры (Naa68) и тройной дозы аммиачной селитры (Naa102).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате эрозионных процессов в период снеготаяния на склонах элементарного водосбора (северной и южной экспозиции 3-5°) среднемноголетняя величина смыва почвы составила 5,2 т/га. Вместе с почвой ежегодно терялось в валовой форме: азота 0,95, фосфора 1,43, калия 10,9, кальция 19,2, магния 11,4 кг/га.

В процессе почвенно-агрохимического тестирования на 1000 га пашни выявлено следующее количество контуров с различным содержанием гумуса в почве: на черноземе обыкновенном 72, черноземе южном 75 и на темно-каштановой почве 28 контуров, для нитрификационной способности эти показатели составили 26; 20; 23, для рН – 54; 24; 8, подвижных форм фосфора 39-43-23, и калия соответственно 33; 25; 24.

Корреляционная связь гумуса с элементами эффективного плодородия на черноземе обыкновенном составила: с нитрификационной способностью $r=0,46$, подвижными формами фосфора и калия $r= -0,12$ и $r= 0,58$ и рН – $r= 0,59$ соответственно. Для чернозема южного – соответственно $r=0,30$; $r= 0,46$; $r=0,23$; $r= -0,57$, для темно-каштановых почв соответственно $r= -0,13$; $0,17$; $0,13$; $-0,15$.

Обеспеченность почвы питательными элементами отразилась на уровне урожайности яровой пшеницы. Урожайность яровой пшеницы по предшественнику яровая пшеница на трансаккумулятивной фации была на 0,3 т/га выше, чем на верхней трансэлювиальной части склона.

Выявлены закономерности сопряженного повышения содержания гумуса в почве и уровня урожайности озимой пшеницы на черноземе обыкновенном и южном. На черноземе обыкновенном при повышении гумуса в почве (элювиальной фация) от 2,5 до 3,5 % прибавка урожайности озимой пшеницы составила 0,53 т/га зерна, а в диапазоне от 3,5% до 5,0% (трансэлювиальная фация) – 0,23 т/га. В трансаккумулятивной фации (от 5,5% до 6,5% гумуса) средняя прибавка урожайности увеличилась до 1 т/га, на почве аккумуля-

мулятивной фации (7,0 %) – 1,3 т/га, на черноземе южном в диапазоне от 2,5 до 3,5 % гумуса на 1 % гумуса приходилось 0,5 т/га, а от 2,5 % до 4,5 % – 1,1 т/га.

Установлены фациальные особенности связи предшественников с урожайностью яровой пшеницы. В среднем по всем фациям агроландшафта урожайность по пласту многолетних трав на варианте без применения удобрений составила 1,56 т/га, что на 39,7 % выше, чем по предшественнику яровая пшеница. Эффективность удобрений по предшественнику яровая пшеница была в 3 раза выше, чем на одноименных вариантах по пласту многолетних трав. На верхней (трансэлювиальной) фации эффективность удобрений была на 0,2 т/га или 10,3 % ниже, чем на трансаккумулятивной фации.

На варианте с внесением Nаа68 кг/га д.в. по многолетним травам в трансэлювиальной фации прибавка урожая яровой пшеницы по сравнению с контролем составила – 0,47 т/га или 36,7%, тогда как на трансаккумулятивной фации более эффективной оказалась доза 102 кг/га д.в. (0,4 т/га, или 21,7%).

Внесение N102 кг/га д.в. позволило получить положительный баланс азота на пашне с содержанием гумуса 2,5% и 4,0% гумуса и отрицательный на фоне 5,0% содержания гумуса. Практически на всех уровнях содержания гумуса был получен возврат азота в почву близкий к нормативному.

Уровень продуктивности отразился на экономической эффективности возделываемых культур.

На черноземе обыкновенном, на вариантах без применения удобрений, величина условного чистого дохода на почве с содержанием гумуса 4,0 и 5,0 % по сравнению с содержанием 2,5% гумуса увеличилась на 3100 руб./га (66,2 %), при этом уровень рентабельности вырос соответственно в 8 раз.

На черноземе южном увеличение содержания гумуса с 3,0 % до 4,5% на неудобренном варианте привело к росту условного чистого дохода на 6356 руб./га, или в 2,8 раза.

Экономический анализ результатов влияния удобрений на формирование условного чистого дохода показал, что на черноземе обыкновенном без

применения удобрений величина условно чистого дохода на варианте с содержанием гумуса 4,0 и 5,0 % по сравнению с 2,5 % гумуса увеличилась на 3100 руб./га или 66,2%, при этом уровень рентабельности вырос соответственно в 8 раз.

На черноземе южном увеличение содержания гумуса на неудобренном варианте с 3,0 до 4,5 % привело к росту условного чистого дохода на 6356 руб./га, или в 2,8 раза, что на примерно в 4 раза выше, чем на черноземе обыкновенном. Возделывание озимой пшеницы на черноземе южном с содержанием гумуса 3,0 % оказалось нерентабельным, а на варианте с содержанием 4,5 % гумуса уровень рентабельности составил 135,4 %.

На черноземе обыкновенном в общей сумме чистого дохода доля от удобрений составила всего лишь 30,4%. На черноземе южном в более засушливых условиях, чем на черноземе обыкновенном разрыв между величиной условно чистого дохода полученного от гумуса и удобрений был выше. На варианте, где почва содержала 3,0 % гумуса, условный чистый доход от гумуса был в 6,6 раз, а на варианте с содержанием гумуса 4,5 % – в 13,4 раза выше, чем в среднем от доз применяемых удобрений.

Наилучшие показатели уровня рентабельности были на контуре с содержанием гумуса 5,0 % от внесения дозы аммиачной селитры (Naa102).

Предложения производству

В целях повышения эффективности применения удобрений в агроландшафте следует:

– с использованием ГИС-технологий проводить детальное (1:5) почвенно-агрохимическое обследование пашни и на основе разработанных цифровых карт обеспеченности почв питательными элементами определять фациальную принадлежность рабочих участков (полей);

– для поддержания оптимального баланса азота на черноземах обыкновенном и южном и повышения урожайности яровой пшеницы по предше-

ственнику яровая пшеница перед посевом рекомендуется вносить на трансэлювиальной фации $N_{aa}34$ кг/га д.в., на трансаккумулятивной фации $N_{aa}68$, под озимую пшеницу в весеннюю подкормку – соответственно $N_{aa}68$ и $N_{aa}102$ кг/га д.в.;

– по предшественнику многолетние травы независимо от фациальной принадлежности рабочего участка не должна превышать $N_{aa} 34$ кг/га д.в. ;

– дозу азотного удобрения для подкормки озимой пшеницы, эффективную на рабочем контуре с минимальным содержанием гумуса на других рабочих контурах следует увеличивать в диапазоне содержания гумуса в почве от 2,5 до 4,5% – на 40% , а свыше 4,5% – на 20% на каждый последующий 1 % прирост гумуса в почве.

Список использованной литературы

1. Абдрашитов, Р.Х. Технологические приемы возделывания зерновых культур на Южном Урале / Р. Х. Абдрашитов // Вестн. Рос. акад. с.-х. наук. – М., 2005. – С. 94–116.
2. Агроклиматические ресурсы Саратовской области. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 12 с.
3. Агроэкологические особенности возделывания с.-х. культур в различных севооборотах на склоновых черноземных почвах Поволжья / И.Ф. Медведев, В.И. Ефимова, Н.И. Нуждин, О.В. Шаталова // Селекция, семеноводство и технология возделывания полевых культур. – Саратов, 1996. – С. 122–131.
4. Адамчук, В.В. Точное земледелие: существо и технические проблемы / В.В. Адамчук, В.К. Моисеенко // Тракторы и с.-х. машины. – 2003. - № 8. – С. 12–16.
5. Адерихин, П.Г. Почвенно-эрозионное районирование ЦЧО / П.Г. Адерихин, И.А. Санталов // Природное сельскохозяйственное районирование СССР. – М., 1981. – С. 110–145.

6. Александрова, Л.Н. Органическое вещество почв и процессы его трансформации / Л.Н. Александрова. – Л.: Наука, 1980. – 287 с.
7. Арманд, Д. Л. Наука о ландшафте / Д.Л. Арманд. – М.: Мысль, 1975. – 288 с.
8. Афанасьев Р.А. Учет внутривершинной гетерогенности почвы и посевов при дифференцированном применении удобрений / Р.А. Афанасьев // Интенсификация, ресурсосбережение и охрана почв в адаптивно-ландшафтных системах земледелия: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. ГНУ ВНИИ-ЗиЗПЭ РАСХН, 10-12 сент. 2008 г., г. Курск. – Курск, 2008. – С. 304–320.
9. Афанасьев, Р.А. Агрохимическое обеспечение точного земледелия / Р.А. Афанасьев // Проблемы агрохимии и экологии. – 2008. - № 3. – С. 22–28.
10. Ахметьева, Н.П. Загрязнение грунтовых вод удобрениями / Н.П. Ахметьева, М.В. Лола, А.Г. Горецкая. – М.: Наука, 1991. – 104 с.
11. Баланс гумуса в почвах Украины в условиях интенсификации земледелия / Б.С. Носко, В.В. Медведев, Г.Я. Чесняк, А.К. Бадум // Проблемы гумуса в земледелии. – Новосибирск, 1986. – С. 12–16.
12. Барабанов, А.Т. Комплексная роль лесомелиоративных и агротехнических противоэрозионных мероприятий / А.Т. Барабанов, В.И. Антипов, В.И. Козак // Почвозащитная лесомелиорация. – Волгоград, 1987. Вып. 2(51). – С. 17–19.
13. Башкин, В.Н. Прогнозирование аккумуляции биофилов в природных водах на основе изучения их ландшафтно-агрогеохимического баланса / В.Н. Башкин // Антропогенное эвтрофирование природных вод. – М., 1983. – С. 72–74.
14. Бей, А.А. Почвозащитная система обработки почвы и нормы удобрений / А.А. Бей, И. Я. Зозуля, О.В. Ягодин // Земледелие. – 1986.–№2. – С. 38–40.
15. Белоголовцев, В.П. Комплексная диагностика параметров взаимодействия минерального питания и формирования продуктивности культур каштановой зоны Поволжья: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / В.П. Белоголовцев. – Саратов, 2002. – 48 с.

16. Белоголовцев, В.П. Оптимизация минерального питания сорго сахарного на орошаемой светло-каштановой почве с помощью метода почвенной диагностики / В.П. Белоголовцев // *Агрохимия*. – 2001. - № 4. – С. 28–31.
17. Беяускас, Л.М. Защита почв от эрозии и рациональное применение удобрений в условиях холмистого рельефа Литовской ССР / Л.М. Беяускас, О.С. Алякнавичюте // *Химия в сел. хоз-ве*. – 1985. – Т.23, №12. – С. 47–50.
18. Берг, Л.С. Ландшафтно-географические зоны СССР / Л.С. Берг. – М.-Л., 1931. – 145 с.
19. Биоклиматический потенциал и его использование (на примере Московской области) / Д.И. Шашко, Н.П. Бондарчук, Ю.А. Казизов, В.Н. Коловская, Н.Д. Покровская, Е.М. Ямпольская // *Земледелие*. – 1985. - №6. С. 18–26.
20. Биоэнергетический потенциал основных сельскохозяйственных фондов в агроландшафте на чернозёмных почвах Саратовского Правобережья / В.А. Назаров, В.М. Попов, И.Ф. Медведев, Н.И. Стрижков, Н.Е. Сеницина, В.А. Болдырев // *Вестн. СГАУ им. Н.И. Вавилова*. – 2012. - № 5. – С. 37–40.
21. Бирюкович, А.В. Многолетние травы в почвозащитном севообороте / А.В. Бирюкович, Ф.Г. Ботяновский // *Земледелие*. – 1962. - № 9. – С. 19.
22. Блэк, К. Растение и почва / К. Блэк. – М.: Колос, 1973. – 503 с.
23. Бондарев, А.Г. Проблема деградации физических свойств почв России и пути ее решения / А.Г. Бондарев, И.В. Кузнецова // *Почвоведение*. – 1999. - №9. – С. 1126–1131.
24. Бондаренко, Ю.В. Мелиоративная и экономическая эффективность противоэрозионного комплекса в Саратовском Правобережье / Ю.В. Бондаренко // Развитие адаптивных почвозащитных систем земледелия в Поволжье: тез. докл. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А.И. Бараева, (г. Саратов, НИИСХ Юго-Востока, 7-8 июля 1998 г.). – Саратов, 1999. – С. 48–49.
25. Бондаренко, Ю.В. Пространственно-временная эволюция почвенного плодородия эродированных склонов / Ю.В. Бондаренко, В.В. Афонин, Б.В.

Фисенко // Адаптивные технологии производства качественного зерна в засушливом Поволжье. – Саратов, 2004. – С.156–160.

26. Брауде, И.Д. Запасы воды в снеге на склонах разной экспозиции и их влияние на эрозию почв / И.Д. Брауде // Водная эрозия почв и меры борьбы с ней в районах лесостепи. – М., 1976. – С. 44–76.

27. Бронзова, Г.Я. Создание кормовых угодий на смытых почвах / Г.Я. Бронзова. – М.: Сельхозгиз, 1965. – 110 с.

28. Будыко, М.И. Изменения термического режима атмосферы в фанерозое / М.И. Будыко // Метеорология и гидрология. – 1971. – № 10. – С. 5–10.

29. Булгаков, Д.С. Свойства и качественная оценка смытых темно-серых лесных пахотных почв (на примере почв совхоза "Каширский" Московской области): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Д.С. Булгаков. – М., 1973. – 27 с.

30. Вернадский, В.И. Живое вещество / В.И. Вернадский. – М.: Наука, 1978. – 358 с.

31. Влияние дифференциации почвенного плодородия на формирование урожайности озимой пшеницы / Д.И. Губарев, И.Ф. Медведев, Д.А. Анисимов, Ф.В. Сиренко // Стратегия развития кормопроизводства в условиях глобального изменения климатических условий и использования достижений селекции: материалы Междунар. науч.-практ. конф. посвящ. 55-летию Уральского НИИСХ. Т.1. Растениеводство. – Екатеринбург, 2011. – С.250–253.

32. Влияние рельефа и типа земель на пространственное распределение углерода органических веществ в почвах (на примере типичного локального водосборного бассейна в зоне черных почв Северо-Востока Китая / Ж.-Б. Вэй, Д.-Н. Дзяо, Д.-Й. Чжанг, Д.-Ю. Ли // Почвоведение. – 2008. - №1. – С.44–53.

33. Влияние эрозионных процессов на качественный и количественный состав гумуса серых лесных почв / Л.И. Китаева, Д.О.Зейлигер, А.Т. Февралева, В.И. Мельников // Вопросы почвоведения и агрохимии. – Саратов, 1982. – С.11–22.

34. Герасименко, В.П. Теоретические основы и агротехнические приемы регулирования водной эрозии почв на пахотных землях Европейской территории СССР: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / В.П. Герасименко. – Минск, 1989. – 32 с.
35. Гетманец, А.Я. Поступление азота в почву с атмосферными осадками в степи УССР / А.Я. Гетманец, Л.М. Дудченко, В.С. Чумак // Бюл. ВНИИ кукурузы. – 1973. – Вып.1(30). – С. 35–38.
36. Гинзбург, К.Е. Фосфор основных типов почв СССР / К.Е. Гинзбург. – М.: Наука, 1981. – 242 с.
37. Глазовская, М.А. Роль и функция педосферы в геохимических циклах углерода / М.А. Глазовская // Почвоведение. – 1996. - №2. – С.16–19.
38. Глобальные проявления изменений климата в агропромышленной сфере / под ред. А.Л. Иванова. – М., 2004. – 332 с.
39. Гольдберг, В.М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды / В.М. Гольдберг. - Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 247 с.
40. Горбачева, А.Е. Почвенно-агрохимические и экологические основы повышения плодородия эродированных черноземов: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / А.Е. Горбачева. – Минск, 1989. – 49 с.
41. Гордеев, А.М. Влияние удобрений и комбинированной вспашки на защиту дерново-подзолистых почв от эрозии / А.М. Гордеев, Л.Н. Цуриков, В.Е. Явтушенко // Почвоведение. – 1976. - № 3. – С. 97–104.
42. Гринченко, Т.А. Комплексная оценка эволюции плодородия почв и степени их окультуренности при длительном воздействии мелиорации и удобрений / Т.А. Гринченко, А.А. Егоршин // Агрохимия. – 1984. - № 2. – С. 82–88.
43. Губарев, Д.И. Дифференциация почвенного плодородия как фактор формирования урожайности озимой пшеницы / Д.И. Губарев, И.Ф. Медведев, В.М. Попов // Инновационных технологии агрономии: материалы Междунар. науч.-практ. конф. в рамках фестиваля аграрной науки, 14-17 марта 2011. – М.И., 2011. – С. 45–47.

44. Гудзон, Н. Охрана почвы и борьба с эрозией / Н. Гудзон. – М.: Колос, 1974. – 302 с.
45. Дегтярева, Е.Т. Почвы Волгоградской области / Е.Т. Дегтярева, А.Н. Жулидова. – Волгоград: Ниж.-Волж. кн. изд-во, 1970. – 320 с.
46. Денисов Е.П., Агеев Ю.Д., Царев А.П. и др. Севооборот, удобрения и плодородие почвы. - Саратов: СГАУ, 1999. - 216с.
47. Дифференцированное применение удобрений в системе координат: аналитический обзор. – М.: Информагротех, 2002.
48. Дмитриев, Е. А. Математическая статистика в почвоведении / Е. А. Дмитриев. – М.: Изд-во МГУ, 1972. – 292 с.
49. Добровольский, Г.В. Биосферно-экологическое значение почв / Г.В. Добровольский. – М.: Колос, 1996. – С.5–10.
50. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А.Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
51. Дудкин, В.М. Проблемы совершенствования севооборотов в ландшафтном земледелии // Проблемы ландшафтного земледелия. – Курск, 1997.– С. 150–155.
52. Дудорев, М.А. Мелиоративно-экологическая роль лесных насаждений в Поволжье / М.А. Дудорев, А.И. Разаренов, П.Н. Проездов // Вопросы лесного хозяйства, лесомелиорации, экологии, охраны природы. – Саратов, 1992. – С. 27–34.
53. Дурасов, А.И. Групповой состав гумуса и отношение углерода к валовому азоту в темно-каштановых почвах различных провинций / А.И. Дурасов, В.Ф. Марченко // Почвоведение. – 1966. - №10. – С. 37–39.
54. Еников, К. Влияние, оказываемое минеральными удобрениями на окружающую среду и здоровье человека / К. Еников, Л. Райкова, Д. Статчев. – М., 1982. - N5. – С. 63–73.
55. Жаркова, Ю.Г. Методика оценки почвозащитных свойств естественной травянистой растительности / Ю.Г. Жаркова // Закономерности проявления

эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях: тез. докл. 2-ой межвуз. конф. – М., 1976. – С.18.

56. Жученко, А.А. Фундаментальные и прикладные научные приоритеты адаптивной интенсификации растениеводства в XXI веке / А.А. Жученко. – Саратов, 2000. – 270 с.

57. Заика, В.В. Агроэкологическая эффективность почвозащитных технологий возделывания ячменя на склоновых землях северной лесостепи УССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / В.В. Заика. – Киев, 1982. – 23 с.

58. Зайченко, К.И. Влияние защитных лесонасаждений на плодородие смытых почв / К.И. Зайченко. – М., 1991. – С. 163–212.

59. Заславский, М.Н. Агротехнические мероприятия по борьбе с эрозией почв в Молдавии / М.Н. Заславский // Эрозия почв и борьба с ней. – Кишинев, 1957. – С.109–118.

60. Заславский, М.Н. Допустимые нормы водной эрозии или обязательные нормы наращивания плодородия почв / М.Н. Заславский // Почвоведение. – 1983. - № 11. – С. 91–100.

61. Заславский, М.Н. Почвоводоохранное земледелие / М.Н. Заславский, А.Н. Каштанов. – М.: Россельхозиздат, 1984. – 462 с.

62. Заславский, М.Н. Эрозия почв / М.Н. Заславский. – М.: Мысль, 1979. – 245 с.

63. Захаров, А.И. Продуктивность почвозащитных севооборотов / А.И. Захаров, В.М. Петров // Научные основы совершенствования систем земледелия в современных условиях: сб. науч. тр. / Ульяновский НИИСХ; Т.14. – Ульяновск, 1998. – С.21–22.

64. Захаров, П.С. Эрозия почв и меры борьбы с ней / П.С. Захаров. – М.: Колос, 1971. – 191 с.

65. Иванов, В.Д. Влияние влажности и глубины промерзания почв на поверхностный сток талых вод / В.Д. Иванов // Почвоведение. – 1982. - № 6. – С. 80–86.

66. Иванов, В.Д. Защита почв от эрозии и повышение их плодородия на основе комплекса противоэрозионных мероприятий в центральной лесостепи: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / В.Д. Иванов. – Минск, 1984. – 40 с.
67. Иванов, П.К. Плоскорезная система обработки почвы на Юго-Востоке / П.К. Иванов. – Саратов: Приволж. кн. изд-во, 1976. – 80 с.
68. Иванова, Е.Н. Опыты систематики почв степной зоны СССР (сообщение 2) / Е.Н. Иванова, Н.Н. Розов // Почвоведение. – 1959. - №1. – С. 59 – 70.
69. Иванова, З. П. Современные экзогенные процессы Саратовского Поволжья и новейший структурный план: автореф. дис. ... канд. геогр. наук / З. П. Иванова. – Л., 1988. – 24 с.
70. Исаченко, А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование / А.Г. Исаченко. – М.: Высш. шк., 1991. — 366 с.
71. Караваева, В.Н. Агрохимические свойства смытых почв Свердловской области / В.Н. Караваева // Тр. Уральского НИИСХ. – 1965. Т.6. – С.76–91.
72. Карпович, К.И. Совершенствование почвозащитных систем обработки почвы в основных типах агроландшафта черноземной лесостепи Среднего Поволжья: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / К.И. Карпович. - Кинель, 1999. – 42 с.
73. Карта эрозионного индекса дождевых осадков Европейской территории СССР и Кавказа / М.Н. Заславский, Г.А. Ларионов, А.Г. Докудавская и др. // Эрозия почв и русловые процессы. – М., 1981. – Вып.8. – С.17–29.
74. Каштанов, А. Н. Агрэкология почв склонов / А.Н. Каштанов, В. Е. Явтушенко. – М.: Колос, 1997. – 240 с.
75. Каштанов, А.Н. Влияние эрозии на водно-физические и химические свойства почв на склонах Алтайского Приобья / А.Н. Каштанов, Л.В. Жежер, Г.В. Журавлева, В.Е. Мусокранов // Почвоведение. – 1976. - №3. – С.105–114.
76. Кёршенс, М. Значение содержания гумуса для плодородия почв и круговорота азота / М. Кёршенс // Почвоведение. – 1992. - №10. – С. 122–130.
77. Кирюшин, В.И. Экологические основы земледелия / В.И. Кирюшин. – М.: Колос, 1996. – 432 с.

78. Ковда, В. А. Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана / В. А. Ковда. – М.: Наука, 1981. –180 с.
79. Ковда, В.А. Как помочь нашим черноземам / В.А. Ковда // Наш современник. – 1985. - №7. – С. 117–128.
80. Кольцова, Г.А. Состав минеральных фосфатов в эродированных почвах Башкирии / Г.А. Кольцова, Э.Г. Ашимов // Агрехимия. – 1985. - №7.– С. 32–42.
81. Кордуняну, П.Н. Система применения удобрений и плодородие почв / П.Н. Кордуняну, Н.А. Туртуряну, А.И. Молдован. – Кишинев: Картя Молдовеняске, 1984. – 164 с.
82. Корчагин В.А. Системы земледелия степных районов Среднего Заволжья // Земледелие. - 1984. - N3. - С. 13-16.
83. Костычев, П.А. Почвы черноземной области России, их происхождение, состав и свойства / П.А. Костычев. – М.: Сельхозгиз, 1949. – 239 с.
84. Котлярова О.Г. Ландшафтная система земледелия - основа повышения плодородия почв / О.Г. Котлярова. – Белгород: Изд-во Белгородской ГСХА, 2000. – 46 с.
85. Котлярова, О.Г. Ландшафтная система земледелия Центрально-Черноземной зоны / О.Г. Котлярова. – Белгород: Изд-во Белгородской ГСХА, 1995. – 294 с.
86. Котлярова, О.Г. Почвозащитная система в интенсивном земледелии Центрально-Черноземной зоны / О. Г. Котлярова. – Воронеж: Центр.-Чернозем. кн. изд-во, 1990. – 114 с.
87. Кочкарь, М.М. Лесомелиорация склонов как фактор агроэкологической стабилизации и повышения урожайности зерновых культур в Поволжье / М.М. Кочкарь, А.Т. Барабанов // Адаптивные технологии производства качественного зерна в засушливом Поволжье. – Саратов, 2004. – С.49–54.
88. Круговорот и баланс гумуса и питательных веществ как научная основа прогнозирования плодородия почв полесских, лесостепных и степных районов УССР / И.Г. Захарченко и др. // Круговорот и баланс питательных ве-

ществ, и изменение физических свойств основных почв страны в земледелии. – М.,1978. – С. 51–74.

89. Кудряшова, О.А. Изменение некоторых элементов плодородия темно-каштановых почв под влиянием органических и минеральных удобрений при орошении / О.А. Кудряшова, В.В. Кравченко // Рациональное использование почв Саратовской области. – Саратов, 1987. – С.89–93.

90. Кузник, И.А. Агролесомелиоративные мероприятия, весенний сток и эрозия почв / И.А. Кузник. – Л.:Гидрометеоздат,1962. – 220 с.

91. Кузник, И.А. Противозерозионный комплекс в Поволжье / И.А. Кузник, Н.Г. Воронин, Э.П. Дик. – Саратов: Приволж. кн. изд-во,1968. – 90 с.

92. Кулик, К.Н. Защитные лесонасаждения и баланс углерода в аридной зоне России / К.Н. Кулик, В.И. Петров, В.М. Кретинин // Теория и практика агролесомелиорации: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / ВНИАЛМИ. – Волгоград, 2005. – С. 9–16.

93. Куликова, А.Х. Воспроизводство биогенных процессов в агроэкосистемах и регулирование плодородия чернозема лесостепи Поволжья: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / А.Х. Куликова. – Кинель, 1997. – 40 с.

94. Левенец, П.П. Эффективность удобрений на дерново-подзолистых почвах Полесья УССР / П.П. Левенец, В.З. Картилова //Агрохимия. – 1981. - №5. – С. 55–59.

95. Левицкая, Н.Г. Оценка современных тенденций изменения климата и их последствий для сельскохозяйственного производства в Нижнем Поволжье / Н.Г. Левицкая, О.В. Шаталова, Г.Ф. Иванова // Повышение эффективности использования агроклиматического потенциала Юго-Восточной зоны России. – Саратов, 2005. – С. 273–284.

96. Левицкая, Н.Г. Повышение эффективности использования биоклиматического потенциала агроландшафтов Саратовского Правобережья: автореф. дис. ... канд с.-х. наук / Н.Г. Левицкая. – Саратов, 2003. – 21 с.

97. Левицкая, Н.Г. Современные тенденции изменения климата и их влияние на продуктивность с.-х. культур в Нижнем Поволжье / Н.Г. Левицкая,

- О.В. Шаталова // Проблемы и пути преодоления засухи в Поволжье. – Саратов, 2000. – Ч. 2. – С. 33–47.
98. Лисицкий, Д.В. Основные приемы цифрового картографирования местности / Д.В. Лисицкий. – М.: Недра, 1989. – 261 с.
99. Ломакин, М.М. Мульчирование и эрозия почв / М.М. Ломакин, В.М. Кочедыпов // Сел. хоз-во за рубежом. – 1982. - № 2. – С. 12–18.
100. Ломакин, М.М. Мульчирующая обработка почв на склонах / М.М. Ломакин. – М.: Агропромиздат, 1988. – 184 с.
101. Лукин, С.В. Эколого-агрохимические основы адаптивных систем земледелия для эрозионно-опасных и загрязненных тяжелыми металлами агроландшафтов в ЦЧР России: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / С.В. Лукин. – М., 1999. – 46 с.
102. Лукьянчикова, З.И. Влияние длительного применения плоскорезной обработки в севообороте на почву и урожай в степи УССР / З.И. Лукьянчикова // Агрохимия и почвоведение. – 1985. – Вып.48. – С. 57–63.
103. Лыков, А.М. Органическое вещество пахотных почв Нечерноземья / А.М. Лыков, А.И. Еськов, М.Н. Новиков. – М., 2004. – 630 с.
104. Лысак, Г.Н. Почвоводоохранная роль буферных полос из многолетних трав / Г.Н. Лысак, А.И. Климентьев, Н.К. Бискаев // Земледелие. – 1989. - № 12. – С. 38–40.
105. Лысов, А.В. Формирование стока и смыва на южных черноземах Приволжской возвышенности / А.В. Лысов, П.Н. Проездов // Почвозащитное земледелие. – Курск, 1983. – Вып.1(36). – С. 74–80.
106. Ляхов, А.И. Об агрохимической характеристике эродированных почв в связи с применением удобрений / А.И. Ляхов // Применение удобрений на эродированных склонах. – М., 1974. – С.162–197.
107. Майзер, П. Влияние сельского хозяйства на содержание нитратов в подземных водах / П. Майзер // Влияние водохозяйственных мероприятий на гидрогеологические и инженерно-геологические условия литосферы. – М., 1987. – С. 18–24.

108. Макаров, В.З. К вопросу ландшафтного и сельскохозяйственного районирования Саратовского Заволжья / В.З. Макаров, Н.В. Пичугина, В.А. Гусев // Основы рационального природопользования: материалы IV междунар. науч.-практ. конф. / ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2013. – С. 157–161.
109. Макаров, В.З. Ландшафтное районирование Саратовского Заволжья: опыт картографирования и анализ / В.З. Макаров, Н.В. Пичугина, А.Н. Павлова // Пробл. региональной экологии. – 2009. - № 3. – С. 3.
110. Макарова, Г.П. Отражение структуры почвенного покрова и уровня плодородия в классификациях смытых почв / Г.П. Макарова, В.И. Шурикова, В.И. Косоножкин // Эродированные почвы и повышение их плодородия. – Новосибирск, 1985. – С.81–86.
111. Медведев, В.В. Изменение агрофизических свойств черноземов в условиях интенсивного земледелия / В.В. Медведев // Проблемы почвоведения. – М., 1982. – С.21–28.
112. Медведев, В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов / В.В. Медведев. – М., 1988. – 159 с.
113. Медведев, И.Ф. Агроэкологические основы повышения плодородия склоновых черноземных почв Поволжья: дис. ... д-ра с.-х. наук / И.Ф. Медведев. – Саратов, 2001. – 384 с.
114. Медведев, И.Ф. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия и их роль в повышении плодородия черноземных почв / И.Ф. Медведев // Основы рационального природопользования. – Саратов, 1999. – С. 66–74.
115. Медведев, И.Ф. Основные факторы устойчивости зернопродуктового подкомплекса / И.Ф. Медведев, И.И. Рябова // Адаптивные технологии производства качественного зерна в засушливом Поволжье. – Саратов, 2004. – С. 31–36.
116. Медведев, И.Ф. Почвенный покров Саратовской области и его состояние / И.Ф. Медведев, С.Н. Быстрова // Рациональное использование почв Саратовской области. – Саратов, 1987. – С. 4–18.

117. Медведев, И.Ф. Применение удобрений на склоновых черноземных почвах / И.Ф. Медведев, А.П. Тюков // Эффективность удобрений и повышение плодородия почв в засушливом Поволжье. – Саратов, 1986. – С.76–84.
118. Медведев, И.Ф. Роль экологических условий рельефа и удобрений в формировании урожайности яровой пшеницы / И.Ф. Медведев, М. Н. Любимова // Вестн. СГАУ им. Н. И. Вавилова. – 2008. - № 4. – С. 28–30.
119. Медведев, И.Ф. Состояние, охрана и воспроизводство плодородия черноземных почв в условиях Поволжья / И.Ф. Медведев // Научное наследие академика Н.М Тулайкова и практическое применение в современном земледелии: материалы науч.-практ. конф. – Ульяновск, 2000. – С. 45–52.
120. Медведев, И.Ф. Экологические аспекты устойчивости зернового производства в Саратовской области / И.Ф. Медведев, Н.Г. Левицкая, М.Н. Любимова // Вестн. СГАУ им. Н.И. Вавилов. – 2008. - № 5. – С. 37–40.
121. Медведев, И.Ф. Экологические проблемы формирования и использования почв черноземной зоны Поволжья / И.Ф. Медведев // Проблемы и пути преодоления засухи в Поволжье: науч. тр. / НИИСХ Юго-Востока. – Саратов, 2000. – Ч. 2. – С. 70–94.
122. Медведев, И.Ф. Экология и биопродуктивность ландшафтов Саратовской области / И.Ф. Медведев, В.А. Гусев // Изв. Саратов. гос. ун-та. - Новая сер. – 2004. – Т. 4, вып. 1-2. – С. 139–145.
123. Медведев, И.Ф. Эрозионные процессы на пашне Приволжской возвышенности /И.Ф. Медведев, А.И. Шабасев//Почвоведение. – 1991. - № 11. – С. 61–69.
124. Медведев, И.Ф. Эффективность применения удобрений в почвозащитных севооборотах на смытых южных черноземах Саратовской области / И.Ф. Медведев //Бюл. ВИУА. – 1984. - № 71. – С. 21–25.
125. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия земель сельскохозяйственного назначения / под ред. Л.М. Державина и др. – М.: Росинформагротех, 2003. – 240 с.
126. Микроклимат холмистого рельефа и его влияние на сельскохозяйственные культуры /под ред. И.А. Гольцберг. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 250 с.

127. Минеев В.Г. Агрохимия: учебник / В.Г. Минеев. – 2-е изд., перераб. И доп. М.: Колос; М.: МГУ, 200. – 719 с. ISBN5-9532-0253-9. – ISBN 5-211-04795-8
128. Мирзеханова, З.Г. Экологический каркас территории: назначение, содержание, пути реализации / З.Г. Мирзеханова // Проблемы региональной экологии. – 2000. - № 4. – С. 42–55.
129. Михайлин, Н. В. Экономическая эффективность почвозащитных технологий обработки почв в Саратовском Правобережье / Н.В. Михайлин, К.В. Чернов // Развитие адаптивных почвозащитных систем земледелия в Поволжье. – Саратов, 1999. – С. 89–93.
130. Назаров, В.А. Система агроэкологических приемов и агрохимических регулирования плодородия черноземных почв Поволжья / В.А. Назаров, И.В. Назаров // Вестн. СГАУ им. Н.И. Вавилова. – 2008. - №5. – С. 40–42.
131. Никифорова, Л.И. Влияние удобрений и обработки почв на содержание в них гумуса / Л.И. Никифорова // Агрохимия. – 1985. - №8. – С.106–122.
132. Николаева, Н.И. Агрохимическая характеристика выщелоченных черноземов и серых лесных почв Пензенской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Н.И. Николаева. – Мичуринск, 1965. – 45 с.
133. О методике составления крупномасштабных почвенно-агрохимических картограмм в целях применения удобрений / И.Г. Важенин, Е.Т. Музычкин, З.А. Прохорова, Т.Н. Алешина // Почвоведение. – 1961. - № 4. – С. 1–13.
134. Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования / МСХ СССР, Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева; под ред. В.А. Носина, Ю.В. Федорина, Г.А. Фриева. – М.: Колос, 1973. – 95 с.
135. Орлов, А.Д. О месте эродированных черноземов в единой классификационной схеме почв / А.Д. Орлов, А.А. Танасиенко // Эродированные почвы и повышение их плодородия. – Новосибирск, 1985. – С. 19–27.
136. Орлов, А.Д. Эродированные почвы и повышение их плодородия / А.Д. Орлов, А.А.Танасиенко. – Новосибирск: Наука, 1985. С. 24-26.

137. Особенности изменения запасов продуктивной влаги в почве на уровне урочища / Д.А. Анисимов, И.Ф. Медведев, С.С. Деревягин, А.А. Бочков // Проблемы и перспективы аграрной науки в России(посвящается 135-летию со дня рождения А.И. Стебута): сб. докл. Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. – Саратов, 2012. – С. 170–176.
138. Пабат, И.А. Поверхностный сток воды и смыв почвы на склонах в зависимости от возделываемой культуры / И.А. Пабат, Н.Ф. Бенедимчук, В.М. Круть // Почвоведение. – 1976. - №2. – С.107–114.
139. Павловский, Е.С. Агролесомелиорация и плодородие почв / Е.С. Павловский, Ю.И. Васильев, К.И. Зайченко. – М., 1991. – 282 с.
140. Панников, В.Д. Почва, климат, удобрение и урожай / В.Д. Панников, В.Т. Минеев. – М.: Агропромиздат, 1987. – 512 с.
141. Панников, В.Д. Почва, климат, удобрения и урожай / В.Д. Панников, В.Г. Минеев. – М.: Колос, 1977. – 409 с.
142. Полупанов, О.П. Комплексное использование и охрана водных ресурсов / О.П. Полупанов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 251 с.
143. Полуэктов, Е.В. Эрозия почв на Дону и меры борьбы с ней / Е.В. Полуэктов. – Ростов н/Д: Изд-во Ростовского ун-та, 1984. – 160 с.
144. Потери элементов питания в земледелии и охрана окружающей среды: обзорн. информ. ВНИИТЭИСХ / С.Н. Юркин, З.К. Благовещенская, Н.Б. Макаров, Е.А. Пименов. – М., 1978. – 52 с.
145. Применение удобрений и плодородие почв / А.В. Бойко, В.А. Герасимов, В.И. Золотов, Л.И. Малышева, Л.Е. Вельмисива // Вопросы совершенствования сельскохозяйственного производства. Ч.1. Кормопроизводство, земледелие, почвоведение, экология, животноводство. – Пенза, 1995. – С. 69–84.
146. Прогноз развития агрохимической науки на период до 2010 г. / под ред. Н.З. Милащенко. – М.: Изд-во ВИУА. – 1987. – 58 с.
147. Пронько В.В. Изменения плодородия черноземных почв Поволжья и роль минеральных удобрений в повышении их продуктивности /

В.В.Пронько, Д. Ю. Журавлев, Н.Ф. Климова // Вестн. Саратов. ГАУ им. Н.И.Вавилова. – 2007. - № 5. – С. 77–79.

148. Пронько, В.В. Факторы эффективности удобрений в сухостепной зоне Поволжья /В.В. Пронько, П.Н. Гришин, Г.К. Соловова // Проблемы и пути преодоления засухи в Поволжье. – Саратов, 2000. – Ч. 2. – С. 122–142.

149. Пронько, В.В. Экологические функции органических и минеральных удобрений в агроландшафтах степного Поволжья / В.В. Пронько // Вестн. СГАУ им. Н.И. Вавилова. – 2002. - № 2. – С. 45–46.

150. Противозерозионная ресурсосберегающая система обработки почвы в зернопропашном севообороте степи Украины / А.Е. Горбачева и др. //Ресурсосберегающие системы обработки почвы. – М.,1990. – С. 181–186.

151. Прохорова, З.А. К методике агрохимического картирования темно-серых лесных почв различной степени смытости / З.А. Прохорова // Почвоведение. – 1970. - №4. – С.48–60.

152. Прыгунова, Т.М. Изменение физико-химических свойств дерново-средне-подзолистых почв Предкамья ТатССР в зависимости от степени смытости / Т.М. Прыгунова // Сборник аспирантских работ. Естественные науки. Биология. – Казань, 1972. – С. 160–165.

153. Прянишников, Д.Н. Избранные сочинения: в 3-х т. Т.2 / Д.Н. Прянишников. – М.: Сельхозгиз, 1953. – 520 с.

154. Пустан, А. Влияние некоторых минеральных удобрений на изменение физических свойств почв и на вынос питательных веществ поверхностным стоком / А. Пустан, В. Казо, Ф. Матэ //УШ Международный конгресс по минеральным удобрениям. Доклады зарубежных участников. – М.,1976. – Т. 2. –С. 44–53.

155. Районирование территории СССР по основным факторам эрозии / под ред. А. Л. Арманда. – М.: Наука, 1965. – 236 с.

156. Рамазанов, Р.Л. Агрофизические свойства и режим влажности эродированного типичного карбонатного чернозема / Р.Л. Рамазанов, А.П. Акентьев, В.Н. Шимуратов // Повышение плодородия эродированных почв. – Уфа, 1982. – С. 31–41.

157. Расширение воспроизводства плодородия в интенсивном земледелии. Влияние длительного применения удобрений, известкования и севооборота на урожай и плодородие дерново-подзолистой почвы / В.Е. Егоров, Б.А. Доспехов, А.М. Лыков, Д.В. Васильева, М.В. Верещак, Б.О. Киркошин // Вестн. с.-х. науки. – 1979. - № 10. – С. 47–58.
158. Роде, А.А. Основы учения о почвенной влаге: в 2-х т. Т. 2 Методы изучения водного режима почв / А.А. Роде. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 287 с.
159. Рожков, А.Г. О среднемноголетней величине смыва почв с пашни в ЦЧЗ / А.Г. Рожков // Науч.-техн. бюл. по проблеме "Защита почв от эрозии" / ВНИИЗиЗПЭ. – 1977. – Вып. 4 (15). – С. 13–18.
160. Романенков, В.А. Развитие методологии исследования по оценке динамики плодородия почв в длительных опытах Геосети / В.А. Романенков, Л.К. Шевцова // Совершенствование организаций и методологии агрохимических исследований в Географической сети опытов с удобрениями: материалы Всерос. науч.-метод. конф. – М., 2006. – С. 169–171.
161. Романов, В.А. Эрозия почв и борьба с ней / В.А. Романов, Е.А. Щеклейн. – Горький, 1975. – 93 с.
162. Романова, Е.Н. Микроклиматология и её значение для сельского хозяйства / Е.Н. Романова, Г.И. Мосолова, И.А. Береснева. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 246 с.
163. Самсонова, В.П. Структуры пространственной variability агрохимических свойств пахотной дерново-подзолистой почвы / В.П. Самсонова, Ю.Л. Мешалкина, Е.А. Дмитриев // Почвоведение. – 1999. - № 11. – С. 1359–1366.
164. Саратовское Приволжье: ландшафтная структура и современное геоэкологическое состояние / В.З. Макаров, А.Н. Чумаченко, А.Н. Башкатов, В.А. Гусев, Ю.В. Волков, М.Ю. Проказов, А.В. Федоров, В.А. Данилов, В.А. Затонский // Изв. Саратов. ун-та. Сер. Науки о Земле. – 2012. – Т.12, вып.1. – С. 3–13.
165. Сатаров Г.А. Плодородие черноземов и эффективность удобрений в Поволжье. - М.: Изд-во МГУ, 1999. - 176 с.

166. Саттарова, С.И. Влияние удобрений на агрофизические свойства и микростроение типичного чернозема / С.И. Саттарова, Л.И. Саттаров // Науч.-техн. бюл. ВНИИЗ и ЗПЭ. – 1988. – Вып.3(58). – С.25–29.
167. Светлакова, Е.В. Изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы под действием длительного применения возрастающих доз минеральных удобрений / Е.В. Светлакова, А.В. Пасынков // Агрохимия и экология: история и современность: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Н. Новгород, 2008. – Т.3. – С. 96–100.
168. Синягин, И.И. Потери азота из почвы и сроки внесения азотных удобрений / И.И. Синягин // Сел. хоз-во за рубежом. Сер. Растениеводство. – 1970. - № 3. – С. 1–4.
169. Скородумов, А.С. Земледелие на склонах / А.С. Скородумов. – Киев: Урожай,1970. – 427 с.
170. Скрыбина, О.А. Водная эрозия дерново-подзолистых почв Пермской области и некоторые агрохимические приемы борьбы с ней: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / О.А. Скрыбина. – Пермь, 1965. – 22 с.
171. Славнина, Т.П. Азот, фосфор, калий в лесостепных оподзоленных почвах Томской области / Т.П. Славнина // Тр. Томского гос. ун-та. – 1949. – Т.109. – С. 35–49.
172. Словцова, Г.А. О возможности загрязнения окружающей среды в результате направленного использования минеральных удобрений / Г.А. Словцова //Химия в сел. хоз-ве. – 1975. - №12. – С. 51–54.
173. Соболев, С.С. К вопросу о качественной оценке (бонитировке) почв и земельных угодий / С.С. Соболев. – М., 1958. – 35 с.
174. Соболев, С.С. Почвозащитные севообороты / С.С. Соболев // Защита почв от эрозии. – М.,1961. – С. 176–180.
175. Соболев, С.С. Развитие эрозионных процессов на территории Европейской части СССР и борьба с ними / С.С. Соболев. – М.: Изд-во АН СССР,1960. – 248 с.

176. Соболев, С.С. Удобрения как мера борьбы с эрозией почв / С.С. Соболев // Защита почв от эрозии. – М., 1961. – С.160–161.
177. Современное состояние биосферных процессов в агроландшафтах Поволжья / И.Ф. Медведев, Н.Г. Левицкая, Д.И. Губарев, А.А. Бочков // Модели автоматизированного проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия: сб. докл. Всерос. науч.-практ. конф., г. Курск, 14-16 сент. 2010 г. – Курск, 2010. – С. 211–214.
178. Современное состояние плодородия почв Саратовской области / М.П. Чуб, И.Ф. Медведев, Н.В. Потатурина, В.В. Пронько//Агрохимия. – 2003. - № 4. – С. 5–13.
179. Сочава, В. Б. Введение в учение о геосистемах / В.Б. Сочава. – Новосибирск: Наука, 1978. – 320 с.
180. Степанов, А.М. Полезащитное лесоразведение и его эффективность / А.М. Степанов // Агролесомелиорация: проблемы, пути их решения, перспективы: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / ВНИАЛМИ. – Волгоград, 2001. – С. 21–23.
181. Столяров, А.И. Экологические последствия применения агрохимикатов / А.И. Столяров. – Пущино, 1982. – С. 4–6.
182. Сурмач, Г.П. Водная эрозия и борьба с ней / Г.П. Сурмач. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 254 с.
183. Сурмач, Г.П. Почвенно-эрозионные исследования на Средне-Русской возвышенности / Г.П. Сурмач // Сельскохозяйственная эрозия и борьба с ней. – М., 1956. – С. 70–110.
184. Сурмач, Г.П. Распределение поверхностного стока в лесостепных и степных районах Европейской части РСФСР / Г.П. Сурмач //Земледелие. – 1985. - №1. – С. 22–25.
185. Сычев, В.Г. Основные ресурсы урожайности сельскохозяйственных культур и их взаимосвязь / В.Г. Сычев. – М.: Изд-во ЦИАНО, 2003. – 228 с.

186. Танасиенко, А.А. Диагностика и классификация эродированных черноземов Западной Сибири / А.А. Танасиенко // Эродированные почвы и повышение их плодородия. – Новосибирск, 1985. – С. 33–44.
187. Трофимов, С.Я. Функционирование почв в биогеоценозах. Подходы к описанию и анализу / С.Я. Трофимов, С.Н. Седов // Почвоведение. – 1997. - № 6. – С. 770–778.
188. Тюрин, И.В. Плодородие почв и проблема азота в почвоведении и земледелии / И.В. Тюрин. – М., 1957. – 150 с.
189. Усов, Н.И. Почвы Саратовской области: в 2-х ч. Ч. 2. Заволжье / Н.И. Усов.– Саратов: Облгиз, 1948. – 362 с.
190. Усов, Н.И. Почвы Саратовской области: в 2-х ч. Ч.1. Правобережье / Н.И. Усов.– Саратов: Облгиз, 1948. – 288 с.
191. Устойчивое развитие агроландшафтов: в 2-х т. Т. 1/ Н.З. Милащенко, О.А. Соколов, Т. Брайсон, В.А. Черников. – Пушино, 2000. – 315 с.
192. Устойчивое развитие агроландшафтов: в 2-х т. Т. 2/ Н.З. Милащенко, О.А. Соколов, Т. Брайсон, В.А. Черников. – Пушино, 2000. – 598 с.
193. Федотов, В.С. Исследование ливневой эрозии почв и лесомелиоративных мер борьбы с ней в Молдавии: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / В.С. Федотов. – Воронеж, 1981. – 53 с.
194. Фокин, А.Д. Участие различных соединений растительных остатков в формировании и обновлении гумусового вещества / А.Д. Фокин // Проблемы почвоведения. – М., 1978. – С. 60–65.
195. Черемисинов, Г.А. Эродированные почвы и их продуктивное использование / Г.А. Черемисинов. – М.: Колос, 1968. – 215 с.
196. Черкасов, Г.Н. Экологические особенности склоновых земель Центрального Черноземья и пути интенсификации земледелия / Г.Н. Черкасов, Г.А. Чуян // Адаптивные технологии производства качественного зерна в засушливом Поволжье. – Саратов, 2004. – С.18–22.
197. Чернявский, А.А. Противозерозионная обработка плюс удобрения / А.А. Чернявский // Зерн. хоз-во. – 1982. - № 11. – С. 26–28.

198. Чуб, М.П. Баланс гумуса при длительном применении минеральных и органических удобрений на южном черноземе засушливого Поволжья / М.П. Чуб, Н.В. Потатурина, В.В. Пронько // Агрохимия. – 2007. - № 9. – С. 10–17.
199. Чуб, М.П. Черноземные почвы Поволжья, их распространение, состав и использование (на примере Саратовской области) / М.П. Чуб, И.Ф. Медведев, Э.С. Гюрова // Плодородие черноземных почв. – М., 1998 – С. 509–553.
- 199(б). Чуб М.П. Эффективность и баланс фосфора в зернопаровом севообороте на черноземе южном при длительном применении удобрений / М.П. Чуб, В.В. Пронько, Н.В. Потатурина, Г.Н. Бажан // Агрохимия. – 2004. - №11. - С. 18 – 26.
200. Чуян, Г.А. Агрохимические свойства типичного чернозема в зависимости от экспозиции склона / Г.А. Чуян, В.В. Ермаков, С.И. Чуян // Почвоведение. – 1987. - №12. – С. 39–46.
201. Чуян, Г.А. Научные основы регулирования плодородия типичных черноземов на склоновых землях: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / Г.А. Чуян. – Курск, 1994. – 51 с.
202. Чуян, Г.А. Смыв питательных веществ стоком талых вод в зависимости от внесения удобрений и способов обработки почвы / Г.А. Чуян, И.П. Пыхтин // Докл. ВАСХНИЛ. – 1982. - №8. – С. 8–11.
203. Шабаев, А.И. Адаптивно-экологические системы земледелия в агроландшафтах Поволжья / А.И. Шабаев. – Саратов, 2003. – 284 с.
204. Шабаев, А.И. Обоснование и методика построения адаптивно - ландшафтных систем земледелия для условий Саратовской области / А.А. Шаба-

- ев, И.Ф. Медведев //Селекция, семеноводство и технология возделывания полевых культур в условиях Саратовской области. – Саратов, 1996. – С. 122–131.
205. Шабаев, А.И. Особенности разработки систем земледелия на ландшафтной основе для черноземной степи Саратовской области / А.А. Шабаев, И.Ф. Медведев // Проблемы ландшафтного земледелия. – Курск, 1997. – С. 97–107.
206. Шабаев, А.И. Почвозащитное земледелие: опыт, проблемы / А.И. Шабаев. – Саратов: Приволж. кн. изд-во, 1985. – 96 с.
207. Шатилов, И.С. Состояние и перспективы повышения плодородия почв в Центрально-Черноземном экономическом районе РСФСР / И.С. Шатилов, А.Д. Силин, Н.А. Полев // Повышение эффективности земледелия и агропромышленного производства Белгородской области. – М., 1990. – С. 33–44.
208. Шашко, Д.И. Единая система бонитировки и экономической оценки земли / Д.И. Шашко // Вестн. с.-х. науки. – 1969. - № 12. – С. 96–103.
209. Шевцова, Л.К. Гумус черноземов и его изменение при интенсивном сельскохозяйственном использовании / Л.К. Шевцова // Плодородие черноземов России. – М., 1998. – С. 196–224.
210. Шикула, Н.К. Потери питательных веществ из серых оподзоленных почв с поверхностным стоком / Н.К. Шикула, М.М. Ломакин // Почвоведение. – 1978. - №4. – С. 113–120.
211. Ширинян М.Х. Рельеф агроландшафтной местности, его влияние на плодородие почвы, урожайность озимой пшеницы и эффективность удобрений // Совершенствование систем земледелия в различных агроландшафтах Краснодарского края: сб. статей. – Краснодар, 2004. 2012. – С. 59 – 61
212. Шульгин, А.М. Климат почвы и его регулирование / А.М. Шульгин. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 344 с.
213. Экологические проблемы применения удобрений / В.Н. Кудеяров, В.Н. Башкин, А.Ю. Кудеярова, А.И. Бочкарев. – М.:Наука, 1984. – 37 с.
214. Эффективность минеральных удобрений и средств химизации под зерновые культуры в условиях точного земледелия / И. Ф. Медведев, Д. И. Гу-

- барев, С.С. Деревягин, Ф.В. Сиренко // Проблемы агрохимии и экологии. – 2012. - № 1. – С. 28–31.
215. Эффективность удобрений при почвозащитной обработке черноземов / А.Ф. Гнатенко, А.Г. Тарарико, В.В. Зайко, В.В. Положай, И.А. Корчевой // Химия в сел. хоз-ве. – 1986. - №11. – С.13–17.
216. Юхнин, А.А. Оценка почв Нечерноземной зоны Российской Федерации / А.А. Юхнин // Агрохим. вестн. – 1999. - № 1. – С. 6–8.
217. Явтушенко, В.Е. Потери органического вещества и элементов питания растений из почвы в результате водной эрозии / В.Е. Явтушенко, Н.Б. Макаров // Агрохимия. – 1996. - №4. – С. 117–123.
218. Явтушенко, В.Е. Экономические аспекты применения удобрений на склоновых почвах / В.Е. Явтушенко // Тр. ВИУА. – М.,1990. – С. 35–40.
219. Ягодина, М.С. Экологические последствия применения агрохимикатов / М.С. Ягодина. – Пущино, 1982. – С. 47–48.
220. Якушев В.П. Информационные технологии, информационные измерительные системы и приборы в исследовании сельскохозяйственных процессов //Материалы Международной научно-практической конференции «АГРОИНФО-2003»/ РАСХН СО. – Новосибирск, 2003.
221. Якушев, В.П. Информационное обеспечение точного земледелия / В.П. Якушев, В.В. Якушев. – СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2007. – 384 с.
222. Якушев, В.П. На пути к точному земледелию / В.П. Якушев. – СПб: Изд-во ПИЯФ РАН, 2002. – 458 с.
223. Barnett, A.P., Rogers, J.S., Hlliday, I.H. and Dooleu A.E.1965, Peele, T,C, 1973, p.173.
224. Birrel, S.Y. Nutrient Mapping Implications of Short-Range Variability / S.Y. Birrel, K.A. Sudduth, N.R. Kitchen // Proceedings of the 3rd International “Conference Precision Agriculture”. – Minneapolis, 1996. – P. 207–215.
225. Bryan, R.B. The efficiency of aggregation indices in the comparison of some English and Canadian soils / R.B. Bryan // Soil Sci. – 1971. – P. 166–178.

226. Douglas, I. Man, vegetation, and the sediment yield of rivers / I. Douglas // Nature. – 1967. – Vol. 215. – P. 925–928.
227. Duley, F.L. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils / F.L. Duley // Proc. Soil Sci. Soc. Am. – 1939. – Vol. 4. – P. 60–64.
228. Elwell, H.A. Stocking annual runoff and soil loss from agricultural lands in Rhodesia / H.A. Elwell // Water Res. Res. – 1975. – Vol. 11. – P. 601–605.
229. Foster, S.S.D. Ground-water contamination due to agricultural land - use practices in the United Kingdom / S.S.D. Foster, C.P. Yong // Aquifer contamination and protection. – UNESCO, 1980. – P. 3–23.
230. Free, C.R. Soil movement by raindrops / C.R. Free // Agric. Engng. – 1952. – Vol. 33. – P. 491–494.
231. Gal, J. Az erdosovok hatasa a scel sebessegere / J. Gal // Erdeszellad. Kutozatok. – 1961. – N. 2. – P. 53–60.
232. Hadgson, J.M. Soil Survey Field Handbook: Technical Monograph / J.M. Hadgson. – Harpenden, 1974. – 99 p.
233. Hudson, N.W. An introduction to the mechanics of subtropical rainfall / N.W. Hudson // Rhodesia, Science Association Proceedings. – 1961. – Vol. 49. – P. 14–25.
234. Investigations in Erosion Control and Reclamation of Eroded Shelby and Related Soils / D.D. Smith, D.M. Whitt, A.W. Zigg, A.C. McCall and F.G. Bell // Technical Bulletin / United States Department of Agriculture, Washington, D.C., 1945. – No. 883. – P. 175.
235. Klein J.M. Distribution of nitrate in the unsaturated zone and increases in N-NO₃ concentration in rising ground water Redeands-Highlandseast Highlands Area / J.M. Klein, W.L. Bradford // San Bernardino contry, California. Memoires. 1982. – Vol. XVI, pt.2. – P. 179–190.
236. Langbein, W.B. Yield of sediment in relation to mean annual precipitation / W.B. Langbein, S.A. Schumm // Trans. Am. Geophys. Union. – 1958. – Vol. 39. – P. 1076–1084.

237. McCullough, R. An environmental look at the 1985. / R. McCullough, D. Weiss // Farm Bull. Journal of Soil and water Conservation. – 1985.–Vol. 40, №. 2. – P. 267–270.
238. Partos, J. Traitement de l'eau souterraine polluee par les nitrates / J. Partos, Y. Richard // Water Supply. – 1985. – Vol.3, N1. – P. 52–57.
239. Phillipot, J.M. Denitrification biologique: le point sur un an de fonctionnement de la station d'Eragny / J.M. Phillipot, F. Chaffange, O. Pascal //Ibid. – 1988. – P. 92–97.
240. Spatial variability of agricultural soil fertility parameters in a gleyic podzol of Belgium / M. Geypens, L. Vanongeval, N. Vogels, J. Meykens // Precision Agriculture. – 1999. – Vol. 1. – P. 319–326.
241. Stoeckler, J.H. Design of shelterbelt / J.H. Stoeckler // Word crops. – 1964. – Vol.16, N 4. – P. 65–73.
242. Stoeckler, J.H. Shelterbelt influence in Great Plains field environment and crops / J.H. Stoeckler // U. S. Dept. Agr. Prod. Res. Rpt. – 1962. – N 62. – P. 132–150.
243. The Precision-Farming Guide for Agriculturists / M. Morgan at alt. - U.S.A. Jon Deere publishing, 1977. – 117 p.
244. ГИС на локальном сельскохозяйственном участке / D. James Westervelt, F. Harold, Jr. Reetz. - westerve@uiuc.edu, Hreetz@ppi-far.org

Приложения

Приложение 1

Агрометеорологические условия за 2011-2013гг., м/с Саратов ЮВ

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Средняя температура воздуха, °С													
2011	-8,8	-13,9	-4,4	6,8	17,1	19,5	26,2	21,7	14,6	7,4	-2,6	-4,4	6,6
2012	-9,4	-14,5	-4,7	13,6	19,3	23,0	23,9	22,2	14,9	9,7	2,1	-7,1	7,8
2013	-8,3	-6,4	-3,4	9,6	19,6	20,9	21,3	21,4	13,2	7,1	3,6	-2,9	8,0
Сред. многол.	-11,0	-11,4	-4,8	6,6	15,0	19,4	21,4	19,9	14,0	5,4	-2,0	-8,3	5,3
Сумма осадков, мм													
2011	64	35	9	17	12	63	5	20	53	35	31	47	391
2012	70	59	59	17	6	47	27	95	23	62	33	27	525
2013	49	21	53	31	44	141	37	11	115	9	15	18	544
Средн. многол.	32	26	28	29	43	45	51	44	39	41	37	36	451
Относительная влажность воздуха, %													
2011	83	76	78	61	50	61	48	51	68	73	78	86	68
2012	82	78	79	50	45	52	51	59	62	70	80	79	67
2013	84	82	77	58	49	59	59	58	76	72	80	81	70
Средн. многол.	82	81	81	65	52	54	56	58	63	72	83	85	69
ГТК													
	май	июнь	июль	август	сентябрь	май-июль	За период с t > 10°						
2011	0,2	1,1	0,1	0,3	1,2	0,4	0,6						
2012	0,1	0,7	0,4	1,4	0,5	0,4	0,6						
2013	0,7	2,2	0,6	0,2	2,9	1,2	1,2						

Приложение 2

Агрометеорологические условия за 2011-2013гг., м/с Аткарск

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Средняя температура воздуха, °С													
2011	-9,9	-15,8	-6,7	5,4	16,0	18,1	24,6	20,2	12,8	6,6	-3,9	-4,2	5,3
2012	-9,4	-14,6	-6,0	12,1	17,8	21,2	22,5	20,9	13,2	8,7	1,0	-7,4	6,7
2013	-8,9	-7,4	-4,8	8,3	18,6	19,5	19,8	19,9	12,0	5,9	3,1	-4,0	6,9
Сред. многол.	-12,2	-11,6	-5,8	5,1	14,2	18,2	20,6	19,0	12,5	4,9	-2,8	-8,9	4,4
Сумма осадков, мм													
2011	34	23	21	24	22	58	13	45	61	44	29	50	424
2012	25	22	31	32	12	42	41	118	43	100	30	32	528
2013	36	11	33	33	47	107	83	41	117	23	19	17	567
Средн. многол.	36	28	28	30	47	50	56	51	38	41	39	41	485
Относительная влажность воздуха, %													
2011				64	56	67	55	58	76	81			
2012				64	52	64	56	67	71	77	87		
2013				63	53	67	67	65	83	80	86		
Средн. многол.	83	83	84	68	55	59	63	62	67	78	84	85	72
ГТК													
	май	июнь	июль	август	сентябрь	май-июль	За период с t > 10°						
2011	0,4	1,1	0,2	0,7	1,6	0,5	0,8						
2012	0,2	0,7	0,6	1,8	1,1	0,5	0,9						
2013	0,8	1,8	1,4	0,7	3,3	1,3	1,5						

Приложение 3

Агрометеорологические условия за 2011-2013гг., м/с Пугачев

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Средняя температура воздуха, °С													
2011	-11,6	-17,1	-6,9	5,6	16,0	19,0	25,8	20,3	13,8	6,9	-4,4	-7,6	5,0
2012	-10,1	-15,7	-6,0	13,2	18,2	22,5	23,0	22,6	14,2	9,2	1,6	-7,6	7,1
2013	-10,8	-9,3	-4,5	8,9	18,7	21,4	21,6	20,8	13,1	6,3	2,8	-4,4	7,0
Сред. многол.	-13,3	-12,8	-6,6	5,4	14,8	19,9	22,3	20,5	13,5	5,2	-3,0	-9,8	4,7
Сумма осадков, мм													
2011	53	16	37	25	55	52	4	92	153	31	28	23	569
2012	32	17	29	18	16	44	76	40	19	41	30	28	390
2013	40	7	31	28	28	52	120	31	87	17	11	34	486
Средн. Многол.	27	22	26	25	37	37	44	34	31	37	34	28	382
Относительная влажность воздуха, %													
2011				66	55	66	49	58	76	78			
2012				62	53	57	57	58	64	70	80		
2013				64	48	52	58	63	79	79	81		
Средн.многол.	85	82	81	68	54	57	58	57	62	76	84	84	72
ГТК													
месяц	май	июнь	июль	август	сентябрь	май-июль	За период с t > 10°						
2011	0,9	0,9	0,0	1,5	3,7	0,6	1,4						
2012	0,3	0,6	1,1	0,6	0,4	0,7	0,6						
2013	0,5	0,8	1,8	0,5	2,2	1,0	1,1						

Приложение 4

Распределения нитратного азота в 1,5 метровом слое почвы, мг/кг

Фация	Глубина, см	1		2		3		4		В среднем
		мг/кг	мм	мг/кг	мм	мг/кг	мм	мг/кг	мм	
Водораздел	0-20	11,7	92	6,7	70	27,4	32	11,9	16	14,4
	20-50	22,5	50	7,8	86	33,8	38	8,6	3	18,1
	50-100	18	27	16,8	88	43,8	72	10,7	12	22,3
	100-150	10,3	31	12,0	37	43,4	79	8,7	44	18,6
	∑ (0-150)	62,5	200	43,3	281	148,4	221	39,8	75	73,5
Верхняя часть склона	0-20	6	68	8	101	25	43	13	8	13
	20-50	27	54	15	70	27	50	16	14	21,2
	50-100	14	57	21	74	35	82	44	17	28,5
	100-150	9	49	8	52	28	89	39	54	21
	∑ (0-150)	56	228	52	297	115	264	111	93	83,5
Средняя часть склона	0-20	15	79	7	72	6	15	10	30	9,5
	20-50	25	55	16	78	12	35	20	49	18,2
	50-100	16	45	31	89	23	55	24	61	23,5
	100-150	13	61	22	90	21	57	16	72	18
	∑ (0-150)	68	240	75	329	62	162	70	212	68,7
Нижняя часть склона	0-20	17	81	5	82	9	27	8	13	9,7
	20-50	21	54	18	37	15	39	8	11	15,5
	50-100	15	53	9	59	30	49	30	13	21
	100-150	9	57	8	70	21	61	29	24	16,7
	∑ (0-150)	62	245	40	248	73	176	76	61	62,7
Верхняя часть ложбины	0-20	9	73	8	77	14	36	27	13	14,5
	20-50	14	56	9	84	15	55	21	12	14,7
	50-100	24	95	19	124	26	125	35	33	26
	100-150	14	142	16	101	36	92	34	68	25
	∑ (0-150)	60	366	52	386	90	308	116	126	79,5
Средняя часть ложбины	0-20	18	59	3	42	9	38	11	37	10,2
	20-50	15	43	16	54	14	43	17	56	15,5
	50-100	15	53	13	75	19	63	20	76	16,7
	100-150	12	56	7	56	22	43	16	61	14,2
	∑ (0-150)	60	211	39	227	64	187	63	230	56,5
Нижняя часть ложбины	0-20	36	35	30	43	21	20	16	9	25,7
	20-50	55	70	34	51	29	36	16	9	33,5
	50-100	37	151	47	149	44	78	15	35	35,7
	100-150	22	91	21	117	22	78	20	47	21,2
	∑ (0-150)	149	347	132	360	115	212	67	100	115,7
Верхняя часть южного склона	0-20	13	47	3	56	47	30	40	2	25,7
	20-50	18	53	12	60	23	45	16	5	17,2
	50-100	12	36	9	53	36	58	27	17	21
	100-150	7	45	7	29	27	60	31	51	18
	∑ (0-150)	50	181	31	198	133	193	114	75	82
Нижняя часть южного склона	0-20	24	57	9	86	21	17	21	7	18,7
	20-50	28	53	10	52	26	34	18	11	20,5
	50-100	9	53	13	70	30	69	17	26	17,2
	100-150	8	112	10	39	28	79	14	61	15
	∑ (0-150)	69	275	43	247	105	199	70	103	71,5
Корреляция N-NO ₃ с влагой		0,84		0,83		0,88		0,61		

1 – начало периода снеготаяния, 2–конец периода снеготаяния, 3–через месяц после окончания снеготаяния, 4– через 3 месяца после окончания снеготаяния

Распределение доступного фосфора в 1,5 метровом слое почвы, мг/кг

Фация	Глубина, см	1		2		3	4		В среднем
		мг/кг	мм	мг/кг	мм		мг/кг	мм	
Водораздел	0-20	66,3	92	68,3	70	-	91,1	16	75,2
	20-50	87,9	50	60,9	86	-	83,4	3	77,4
	50-100	20,1	27	18,1	88	-	18,2	12	18,8
	100-150	31,3	31	30,8	37	-	25,6	44	29,3
	∑ (0-150)	205,6	200	178,1	281	-	218,3	75	200,6
Верхняя часть склона	0-20	103	68	91	101	-	83	8	92,3
	20-50	135	54	103	70	-	110	14	116
	50-100	40	57	28	74	-	40	17	36
	100-150	46	49	82	52	-	42	54	56,6
	∑ (0-150)	324	228	305	297	-	274	93	301
Средняя часть склона	0-20	67	79	125	72	-	78	30	90
	20-50	117	55	147	78	-	69	49	111
	50-100	41	45	78	89	-	25	61	48
	100-150	18	61	39	90	-	28	72	28,3
	∑ (0-150)	242	240	389	329	-	200	212	277
Нижняя часть склона	0-20	73	81	75	82	-	85	13	77,6
	20-50	60	54	91	37	-	100	11	83,6
	50-100	18	53	87	59	-	23	13	42,6
	100-150	63	57	59	70	-	38	24	53,3
	∑ (0-150)	214	245	311	248	-	246	61	257
Верхняя часть ложбины	0-20	117	73	127	77	-	115	13	119,6
	20-50	155	56	214	84	-	133	12	167,3
	50-100	106	95	141	124	-	32	33	9,3
	100-150	14	142	21	101	-	13	68	16
	∑ (0-150)	391	366	502	386	-	292	126	395
Средняя часть ложбины	0-20	90	59	91	42	-	98	37	93
	20-50	84	43	107	54	-	121	56	104
	50-100	39	53	35	75	-	75	76	49,6
	100-150	26	56	24	56	-	36	61	28,6
	∑ (0-150)	238	211	257	227	-	331	230	275,3
Нижняя часть ложбины	0-20	95	35	91	43	-	74	9	86,6
	20-50	132	70	126	51	-	70	9	109,3
	50-100	225	151	118	149	-	46	35	129,6
	100-150	105	91	84	117	-	47	47	78,6
	∑ (0-150)	556	347	420	360	-	236	100	404
Верхняя часть южного склона	0-20	105	47	127	56	-	81	2	104,3
	20-50	170	53	109	60	-	45	5	108
	50-100	24	36	12	53	-	9	17	15
	100-150	19	45	19	29	-	26	51	21,3
	∑ (0-150)	317	181	267	198	-	162	75	248,6
Нижняя часть южного склона	0-20	58	57	48	86	-	65	7	57
	20-50	29	53	68	52	-	38	11	45
	50-100	14	53	24	70	-	16	26	18
	100-150	12	112	36	39	-	38	61	28,6
	∑ (0-150)	113	275	176	247	-	157	103	148,6
Корреляция P ₂ O ₅ с влагой		0,82		0,89			0,67		

1 – начало периода снеготаяния, 2–конец периода снеготаяния, 3–через месяц после окончания снеготаяния, 4– через 3 месяца после окончания снеготаяния

Приложение 6

Распределение доступного калия в 1,5 метровом слое почвы, мг/кг

Фация	Глубина, см	1		2		3	4		В среднем
		мг/кг	мм	мг/кг	мм	-	мг/кг	мм	
Водораздел	0-20	600	92	520	70	-	490	16	536,6
	20-50	715	50	585	86	-	505	3	601,6
	50-100	720	27	535	88	-	475	12	576,6
	100-150	670	31	565	37	-	345	44	526,6
	∑ (0-150)	2705	200	2205	281	-	1815	75	2241
Верхняя часть склона	0-20	590	68	490	101	-	470	8	516,6
	20-50	780	54	605	70	-	630	14	671,6
	50-100	845	57	690	74	-	535	17	690
	100-150	735	49	420	52	-	510	54	555
	∑ (0-150)	2950	228	2205	297	-	2145	93	2433,3
Средняя часть склона	0-20	490	79	645	72	-	490	30	541,6
	20-50	705	55	970	78	-	485	49	720
	50-100	830	45	885	89	-	435	61	716,6
	100-150	620	61	360	90	-	175	72	385
	∑ (0-150)	2645	240	2860	329	-	1585	212	2363,3
Нижняя часть склона	0-20	670	81	560	82	-	420	13	550
	20-50	670	54	500	37	-	390	11	520
	50-100	715	53	530	59	-	365	13	536,6
	100-150	745	57	595	70	-	490	24	610
	∑ (0-150)	2800	245	2185	248	-	1665	61	2216,6
Верхняя часть ложбины	0-20	490	73	635	77	-	430	13	518,3
	20-50	590	56	915	84	-	435	12	646,6
	50-100	755	95	845	124	-	420	33	673,3
	100-150	605	142	450	101	-	385	68	480
	∑ (0-150)	2440	366	2845	386	-	1670	126	2318,3
Средняя часть ложбины	0-20	430	59	360	42	-	395	37	395
	20-50	380	43	450	54	-	530	56	453,3
	50-100	460	53	365	75	-	460	76	428,3
	100-150	490	56	250	56	-	370	61	370
	∑ (0-150)	1760	211	1425	227	-	1755	230	1646,6
Нижняя часть ложбины	0-20	510	35	650	43	-	380	9	513,3
	20-50	565	70	695	51	-	380	9	546,6
	50-100	825	151	750	149	-	300	35	625,5
	100-150	780	91	720	117	-	285	47	
	∑ (0-150)	2680	347	2815	360	-	1345	100	2280
Верхняя часть южного склона	0-20	670	47	780	56	-	495	2	648,3
	20-50	935	53	580	60	-	485	5	666,6
	50-100	690	36	505	53	-	440	17	545
	100-150	595	45	635	29	-	445	51	558,3
	∑ (0-150)	2890	181	2500	198	-	1865	75	2418,3
Нижняя часть южного склона	0-20	570	57	610	86	-	525	7	568,3
	20-50	695	53	730	52	-	440	11	621,6
	50-100	850	53	540	70	-	335	26	575
	100-150	770	112	440	39	-	355	61	521,6
	∑ (0-150)	2885	275	2320	247	-	1675	103	2293,3
Корреляция K ₂ O с влагой			0,88		0,94			0,68	

1 – начало периода снеготаяния, 2–конец периода снеготаяния, 3–через месяц после окончания снеготаяния, 4– через 3 месяца после окончания снеготаяния

Приложение 7

Влияние культур севооборота и удобрений на концентрацию нитратов
в грунтовых водах

Средний уровень грунтовых вод, см	Поля севооборота	N-NO ₃ в грунтовых водах, мг/л		
		без удобрений	N ₂₀₀	40 т навоза
504	пар	2,3	19,2	6,2
420	оз. пшеница	6,2	20,0	8,3
473	яр. пшеница	13,1	24,1	12,4
489	просо	3,6	19,6	11,6
453	яр. пшеница	7,6	18,9	12,5
421	яр. пшеница	2,3	20,2	11,6
425	пар	4,3	17,8	11,7
344	озимая пшеница	5,9	14,0	11,1
306	яровая пшеница	10,6	12,6	12,5
267	просо	15,4	19,1	13,7
340	яровая пшеница	5,0	17,1	12,1
В среднем, мг/л		6,9	18,4	11,2

Приложение 8

Формирование контурной системы на основе почвенно-агрохимического
обследования КФХ «Сарсенбаев Г.Т.» (172,1 га)

Id	Гумус, %	Площадь, га
1	2,5	1,0
2	3,0	2,6
3	3,0	1,8
4	3,0	7,5
5	3,5	2,5
6	3,5	54,2
7	3,5	3,7
8	4,0	8,4
9	4,0	47,3
10	4,0	10,7
11	4,5	1,0
12	4,5	31,2

Приложение 9

Результаты почвенно-агрохимического обследования т.п. № 6
КФХ «Сарсенбаев Г.Т.» (378,2 га)

Гумус,%	pH, солевая	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ Oмг/кг	N-NO ₃ мг/кг
3	7,3	9,5	307	10,4
4	6,8	42,1	573	12,4
4,2	7	42,1	547	12,8
4,4	6,7	43,9	566	15,2
4,3	6,6	42,1	587	24,8
4,3	6,8	50,9	533	12,4
4,1	7,2	10	357	13,8
3,7	7,3	10	333	11,8
3,8	6,5	47,6	573	13,4
4,2	7,1	10	322	16,5
3,9	7,2	9,5	324	13,1
4,1	7,2	10	375	17,3
4,1	7,1	10	333	11,7
4,3	6,5	45,5	352	14,3
4,3	6,4	40	279	14,8
4,2	6,5	32,1	288	16,2
4,4	6,9	34,2	279	13,4
4,1	7,1	10	312	16,2
3,9	7,2	10	312	14
3,1	7,2	9,5	314	12,5
3,7	7,1	9,5	322	14,2
3,7	7,1	10	282	13,3
4	6,9	37	217	11,9
3,4	7,3	10	343	9
3,7	7,3	11	343	18,1
3,9	7	14	282	13,1
3,5	6,9	40	325	11,1
4,1	7,1	10	333	12,2
4,5	7	10	291	15,9
3,5	7,1	9,5	293	15,1
4,4	7	10	291	14
4,3	7,1	11	302	13,5
3,3	7,1	14	270	9,2
3	7,2	10	302	12,4
2,7	7,3	10	382	11,1
2,9	7,3	11	291	10,6
3,2	7,1	12	326	12,7
4,5	7	9,5	322	14,1
3,9	6,9	30,6	546	12,6
3,9	7	34,2	553	14,2
3,4	7,1	10	312	9,4
3,1	7,2	10	289	14,9
3,2	7,2	11	291	10,8

2,8	7,2	10	241	16,3
3,8	7,1	11	282	13,1
3,8	7,1	10	270	12,5
4,3	6,8	35,5	172	12,3
3,8	6,9	34,2	553	13,5
3,4	7,2	9,5	333	15,8
3,1	7,2	9,5	339	9,1
3,9	7,1	10	343	13,9
4,1	6,9	35,5	600	13,9
4,1	7,2	10	322	12,1
4	6,8	32,1	503	2,4
3,6	7	11	312	10,2
4,1	6,7	40	560	15,8
4	6,5	37	567	10,5
3,7	6,7	37	560	12,7
4,1	7,2	10	314	12,7
3,8	7,1	9,5	354	12,4
3,5	7,3	9,5	354	13,3
3,9	6,7	35,5	547	11,8
3,4	7,1	10	365	11,1
3,1	7,2	10	365	12
3,4	7,2	9,5	375	9,7
3,2	7,3	10	333	13,5
3,8	6,9	37	577	12,6
3,4	7,2	10	375	16,8
3,2	7,1	10	343	11,4
3,4	6,8	34,2	500	15,1
3,5	7,2	10	354	13,1
3,7	7,2	10	356	13,8
3,2	7,1	9,5	354	12,1
3,7	7,1	9,5	333	12,8
3,6	7	10	322	13
2,8	7,4	10	322	12,6
3,5	7,4	11	375	13,1
2,7	7,3	9,5	322	11,5
Коэф. коррел.гумуса с	-0,57	0,46	0,23	0,30

Урожайные данные по тестовому полигону №6 (2011-2013 г.г)

Содержание гумуса, % (фактор А)	Урожайность 2011-2013г.г, т/га (фактор В)								
	2011			2012			2013		
2,5	1,3	1,2	1,3	1,2	1,5	1,1	1,6	1,5	1,7
	2011								
3,0	1,1	1,3	1,1	1,5	1,2	1,3	1,2	1,6	1,4
	2011								
3,5	1,9	1,8	2,1	1,5	1,9	1,7	2,1	2,2	2,1
	2011								
4,0	1,9	2,2	2	1,8	2,1	1,9	2,2	2	2,4
	2011								
4,5	2,1	2,3	2,2	2,3	2,5	2,4	2,7	2,9	2,6
	2011								
НСР	F теор.			F факт.					
Фактор А	0,137		2,71			50,085*			
Фактор В	-		-			-			

ДВУХФАКТОРНЫЙ ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ (А*В)-R
(А-фикс. В-фикс.)

Число градаций фактора А = 5
Число градаций фактора В = 3
Число блоков R = 3

Таблица дисперсионного анализа

Источник	SS	df	ms	F	НСР
Общее	10.092	44			
Блоки	0.097	2	0.049	2.422	
Варианты	9.432	14	0.674	33.530*	0.237
Фактор А	4.025	4	1.006	50.085*	0.137
Фактор В	0.052	2	0.026	1.295	
Взаим. АВ	5.355	8	0.669	33.312*	0.237
Остат.	0.563	28	0.020		

Средние по фактору А: (Sa= 0.047)
1.46; 1.83; 1.66; 1.80; 2.36;
Средние по фактору В: (Sb= 0.037)
1.83; 1.77; 1.85;

Урожайные данные по тестовому полигону № 2 (2011-2013 г.г)

Содержание гумуса, % (фактор А)	Урожайность 2011-2013г.г, т/га (фактор В)									
	2011			2012			2013			
2,5	1,7	1,6	1,9	1,7	1,6	1,9	2,1	2,0	2,4	
3,0	2011									
	2,6	2,2	2,4	2,6	2,2	2,7	2,8	2,4	3,1	
3,5	2011									
	2,5	2,6	2,9	2,5	2,6	2,9	3,0	2,8	3,5	
4,0	2011									
	2,4	2,3	2,7	2,4	2,3	2,9	3,0	2,5	2,7	
4,5	2011									
	2,5	2,9	3,1	2,5	2,9	3,1	2,8	3,2	3,7	
5,0	2011									
	2,2	2,3	2,1	3,2	1,8	2,5	3,1	3,3	2,1	
5,5	2011									
	3,5	3,3	3,6	3,1	3,5	3,9	4,7	4,5	5,0	
6,5	2011									
	4,5	4,4	4,8	4,8	3,9	4,5	5,9	5,5	6,1	
7,0	2011									
	5,5	5,8	6,3	5,2	5,8	6,3	6,8	7,1	7,3	
НСР	F теор.			F факт.						
Фактор А	0,283	2,13			169,94*					
Фактор В	0,164	3,18			87,83*					

ДВУХФАКТОРНЫЙ ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ (А*В) – R
(А-фикс. В-фикс.)

Число градаций фактора А = 9
Число градаций фактора В = 3
Число блоков R = 3

Таблица дисперсионного анализа

Источник	SS	df	ms	F	НСР
Общее	159.196	80			
Блоки	1.659	2	0.829	9.185*	
Варианты	152.842	26	5.879	65.111*	0.491
Фактор А	122.747	8	15.343	169.944*	0.283
Фактор В	15.860	2	7.930	87.834*	0.164
Взаим. АВ	14.235	16	0.890	9.854*	0.491
Остат.	4.695	52	0.090		

Средние по фактору А: (Sa= 0.100)
2.27; 2.50; 4.63; 2.30; 2.62; 4.56; 2.68; 2.93;
5.88;

Средние по фактору В: (Sb= 0.058)
2.79; 3.49; 3.85;

Приложение 12

Фациальная обеспеченность почв почвенно-агробиохимическими показателями пашни склона южной экспозиции при различном сельскохозяйственном использовании

Фации	Зернотравяной севооборот		Зернопаровой севооборот		Баланс между севооборотами	В среднем по фациям и севооборотам	
	Сред. значение	Коэфф. вариации, %	Сред. значение	Коэфф. вариации, %		Коэфф. вариации, %	Сред. значение
Гумус, %							
Элювиальная	3,35	6	3,04	11,1	0,31	8,5	3,19
Трансэлювиальная	3,36	9,1	3,16	10,4	-0,20	9,7	3,26
Трансаккумулятивная	3,47	9,6	3,68	28,2	-0,21	19,1	3,57
В среднем по фациям	3,4	8,2	3,3	16,6	-0,03	12,4	3,3
Минеральный азот, мг/100 г							
Элювиальная	7,2	7,6	6,4	14,1	0,8	10,85	6,8
Трансэлювиальная	7,8	16,2	6,4	15,8	1,4	16	7,1
Трансаккумулятивная	10,4	14,4	9,2	24,3	1,2	19,35	9,8
В среднем по фациям	8,5	12,7	7,3	18,1	1,1	15,4	7,9
рН							
Элювиальная	7,6	1,7	7,4	2,2	0,2	0,95	7,5
Трансэлювиальная	7,3	3,2	7,5	0,6	-0,2	1,5	7,4
Трансаккумулятивная	6,8	6,1	7,4	2,6	-0,6	2,75	7,1
В среднем по фациям	7,2	3,7	7,4	1,8	-0,2	1,7	7,3
Подвижный фосфор, мг/100 г							
Элювиальная	13,5	20,4	30	22,6	-16,5	21,5	21,8
Трансэлювиальная	20,5	25	21,5	32,6	-1	28,8	21
Трансаккумулятивная	41	12,7	42	27,2	-1	19,9	41,5
В среднем по фациям	25	19,4	31,2	27,5	-6,2	23,4	28,1
Урожайность яровой пшеницы, ц/га							
Элювиальная	14	13	5,8	28	8,2	20,5	9,9
Трансэлювиальная	12,5	19	7,3	29,9	5,2	24,45	9,9
Трансаккумулятивная	16,7	8,3	8,7	10,9	8	9,6	12,7
В среднем по фациям	14,4	13,4	7,3	22,9	7,1	18,2	10,8

Урожайные данные яровой пшеницы (Воевода) 2012- 2013 года т.п. №5,
зернотравяной севооборот, т/га.

Дозы удобрений(фактор С)	Верх склона (фактор А)						В среднем	Низ склона (фактор А)						В среднем
	Повторности							Повторности						
	2012 (фактор В)			2013 (фактор В)				2012 (фактор В)			2013 (фактор В)			
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6	
без удобр	1,1	1,2	1,3	1,3	1,45	1,35	1,28	1,61	1,8	1,72	2,2	1,8	1,9	1,84
Naa34	1,4	1,5	1,5	1,65	1,8	1,72	1,6	2,1	2,1	2,2	2,1	2,1	2,2	2,12
Naa68	1,6	1,8	1,6	1,7	1,82	1,75	1,75	1,5	1,6	1,57	2,4	2,5	2,25	1,97
Naa102	1,3	1,7	1,4	1,6	1,8	1,5	1,54	1,78	2,1	1,9	2,5	2,8	2,4	2,24
1гсол.+Naa10	1,2	1,35	1,26	1,35	1,57	1,4	1,36	2,05	1,9	1,8	2,2	2,2	2,2	2,06
2гсол.+Naa20	1,3	1,4	1,3	1,32	1,65	1,5	1,42	1,75	1,7	1,84	2,3	1,8	1,9	1,89
Математическая обработка														
	НСР _{0,95}							F _{теор.}			F _{факт.}			
(фактор А)	-							-			-			
(фактор В)														
(фактор С)														

ТРЕХФАКТОРНЫЙ ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ (А*В*С) -R

Таблица дисперсионного анализа

Источник	SS	df	ms	F	НСР
Общее	9.704	71			
Блоки	0.118	2	0.059	4.018*	
Варианты	8.913	23	0.388	26.441*	0.198
Комб. АВ	6.701	3	2.234		
Фактор А	5.190	1	5.190	354.110*	0.057
Фактор В	1.320	1	1.320	90.093*	0.057
Взаим.АВ	0.191	1	0.191	13.041*	0.081
Комб. АС	6.695	11	0.609		
Фактор С	1.099	5	0.220	14.997*	0.099
Взаим.АС	0.407	5	0.081	5.552*	0.140
Комб. ВС	2.671	11	0.243		
Фактор В	1.320	1	1.320	90.093*	0.057
Взаим.ВС	0.252	5	0.050	3.437*	0.140
Взаим.АВС	0.454	5	0.091	6.193*	0.198
Остат.	0.674	46	0.015		

Средние по фактору А: (S_a= 0.020)

1.48; 2.02;

Множественные сравнения частных средних для фактора А:

1.48a 2.02b

Средние по фактору В: (S_b= 0.020)

1.62; 1.89;

Множественные сравнения частных средних для фактора В:

1.62a 1.89b

Средние по фактору С: (S_c= 0.035)

1.56; 1.86; 1.84; 1.90; 1.71; 1.65;

Множественные сравнения частных средних для фактора С:

1.56a 1.86d 1.84cd 1.90d

1.71b 1.65ab

Урожайные данные яровой пшеницы (Воевода) 2012-2013 года т.п. №5,
по предшественнику яровая пшеница, т/га

Дозы удобрений (фактор С)	Верх склона (фактор А)						В среднем	Прибавка	Низ склона склона (фактор А)						В среднем
	Повторности								Повторности						
	2012(факторВ)			2013(факторВ)					2012 (фактор В)			2013(фактор В)			
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6		
без удобр	0,4	0,6	0,7	1,3	1,4	1,2	0,93		0,8	0,7	0,6	1,3	1,1	1,2	0,95
Naa34	0,8	0,7	0,8	1,8	1,7	1,6	1,23		0,6	0,7	0,8	1,95	1,87	2	1,32
Naa68	0,7	0,8	0,9	2,1	2,2	2,3	1,51		0,6	0,7	0,75	2,2	1,8	2	1,34
Naa102	0,8	0,6	0,9	1,7	1,4	1,9	1,21		0,7	0,8	0,7	2,6	2,3	2,6	1,62
1гсол+Naa10	0,8	0,7	0,8	2	1,9	1,8	1,34		0,6	0,7	0,65	2,2	2,2	2,1	1,41
2гсол+Naa20	0,8	0,9	0,7	2,1	1,9	1,5	1,32		0,7	0,55	0,63	2,3	1,8	1,9	1,31
Математическая обработка															
	HCP _{0,95}								F _{теор.}			F _{факт.}			
фактор А															
фактор В															
фактор С															

ТРЕХФАКТОРНЫЙ ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ (А*В*С) -R

Таблица дисперсионного анализа

Источник	SS	df	ms	F	HCP
Общее	29.507	71			
Блоки	0.104	2	0.052	2.892	
Варианты	28.577	23	1.242	69.193*	0.220
Комб. АВ	24.365	3	8.122		
Фактор А	0.087	1	0.087	4.835*	0.063
Фактор В	23.966	1	23.966	133.669*	0.063
Взаим.АВ	0.312	1	0.312	17.378*	0.090
Комб. АС	2.538	11	0.231		
Фактор С	1.942	5	0.388	21.630*	0.110
Взаим.АС	0.509	5	0.102	5.666*	0.155
Комб. ВС	27.105	11	2.464		
Фактор В	23.966	1	23.966	1334.669*	0.063
Взаим.ВС	1.197	5	0.239	13.327*	0.155
Взаим.АВС	0.565	5	0.113	6.290*	0.220
Остат.	0.826	46	0.018		

Средние по фактору А: (Sa= 0.022)
1.26; 1.33;

Множественные сравнения частных средних для фактора А:

1.26a 1.33b

Средние по фактору В: (Sb= 0.022)
0.71; 1.87;

Множественные сравнения частных средних для фактора В:

0.71a 1.87b

Средние по фактору С: (Sc= 0.039)
0.94; 1.28; 1.42; 1.42; 1.37; 1.32;

Множественные сравнения частных средних для фактора С:

0.94a 1.28b 1.42c 1.42c
1.37bc 1.32bc

Влияние удобрений на урожай озимой пшеницы на различных гумусных контурах т.п. №2

Варианты опыта	Прибавки урожая								
	Содержания гумуса в почве, %								
	2		4			5			
	ц/га	%	ц/га	ц/га	%	ц/га	ц/га	%	ц/га
б/уд	2,1			2,6			2,6		
Наа34	2,8	33,3	0,7	3,1	19,2	0,5	3,4	30,8	0,8
Нааб8	2,9	38,1	0,8	3,0	15,4	0,4	3,8	46,2	1,2
Наа102	3,1	47,6	1	3,2	23,1	0,6	3,9	50	1,3
Аз.ф. N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂	3,2	52,4	1,1	3,4	30,8	0,8	3,4	30,8	0,8
Математический анализ урожайных данных									
Фактор	НСР _{0,95} , ц/га		F теор.			F факт.			
А (гумус)	3,46		3,34			13,5*			
Б (удобрения)	4,46		2,71			10,14*			

Таблица дисперсионного анализа

Источник	SS	df	ms	F	НСР
Общее	2223.431	44			
Блоки	1.142	2	0.571	0.027	
Варианты	1623.464	14	115.962	5.422*	7.741
Фактор А	578.836	2	289.418	13.533*	3.462
Фактор В	867.766	4	216.942	10.144*	4.469
Взаим. АВ	176.862	8	22.108	1.034	
Остат.	598.826	28	21.387		

**Влияние удобрений на урожай озимой пшеницы на различных
гумусных контурах т.п. №6**

Варианты опыта	Прибавки урожая					
	Содержания гумуса в почве, %					
	3,0%			4,5%		
	ц/га	%	т/га	ц/га	%	т/га
б/уд	1,3	–	–	2,0	–	–
Naa34	1,5	15,4	0,2	2,2	10	0,2
Naa68	1,6	23,1	0,3	2,5	25	0,5
Naa102	1,4	7,7	0,1	2,3	15	0,3
Аз.ф. N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂	1,5	15,4	0,2	2,3	15	0,3
Математический анализ урожайных данных						
Фактор	НСР _{0,95} , ц/га		F теор.		F факт.	
А (гумус)	0,125		2,93		110,65	
В (удобрения)	0,079		4,41		17,99	

Таблица дисперсионного анализа

Источник	SS	df	ms	F	НСР
Общее	5.552	29			
Блоки	0.008	2	0.004	0.375	
Варианты	5.352	9	0.595	55.742*	0.177
Фактор А	4.722	4	1.180	110.656*	0.125
Фактор В	0.192	1	0.192	17.995*	0.079
Взаим. АВ	0.438	4	0.110	10.264*	0.177
Остат.	0.192	18	0.011		

Энергетическая эффективность производства озимой пшеницы на контуре с содержанием гумуса в почве 2% (т.п. №2, Аткарский район, ООО «ТВС-АГРО»)

Показатель	Единица измерения	Варианты с удобрениями				
		б/у	Naa 34	Naa 68	Naa 102	N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂
Сбор зерн.ед. с 1 га севооборотной площади	ц	25,7	34,6	36,6	38,9	39,4
Накопленная энергия фитомассы, E _ф	МДж/га	98782	132894	140576	149482	151330
Затраты антропогенной энергии	МДж/га	2854	3621	3830	3889	3939
Полные энергетические затраты на возделывание, E _А	МДж/га	6330	10048	13208	16219	9157
Энергопотенциал почвы	ГДж/га	1152,3	1152,3	1152,3	1152,3	1152,3
Энергоемкость продукции	МДж/ц	111	190	266	330	144
Энергетическая эффективность производства, ЭЭ	-	34,6	20,2	14,4	11,7	20,4

Энергетическая эффективность производства озимой пшеницы на контуре с содержанием гумуса в почве 4% (т.п. №2, Аткарский район, ООО «ТВС-АГРО»)

Показатель	Единица измерения	Варианты с удобрениями				
		б/у	Naa 34	Naa 68	Naa 102	N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂
Сбор зерн.ед. с 1 га севооборотной площади	ц	33,0	38,2	37,3	40,0	42,4
Накопленная энергия фитомассы, E _ф	МДж/га	1267 49	146721	143336	153635	162853
Затраты антропогенной энергии	МДж/га	3454	3819	3904	3999	4239
Полные энергетические затраты на возделывание, E _д	МДж/га	6930	10246	13282	16329	11200
Энергопотенциал почвы	ГДж/га	2304	2304	2304	2304	2304
Энергоемкость продукции	МДж/ц	105	177	263	321	196
Энергетическая эффективность производства, ЭЭ	-	36,7	21,7	14,6	12,0	21,1

Энергетическая эффективность производства озимой пшеницы на контуре с содержанием гумуса в почве 5% (т.п. №2, Аткарский район, ООО «ТВС-АГРО»)

Показатель	Единица измерения	Варианты с удобрениями				
		б/у	Naa 34	Naa 68	Naa 102	N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂
Сбор зерн.ед. с 1 га севооборотной площади	Ц	32,5	46,0	47,7	49,2	42,9
Накопленная энергия фито-массы, E _ф	МДж/га	124900	176680	183282	188971	164845
Затраты антропо-генной энергии	МДж/га	3401	4176	4330	4466	4288
Полные энергетические затраты на возделывание, E _д	МДж/га	6877	10603	13708	16796	11249
Энергопотенциал почвы	ГДж/га	2881	2881	2881	2881	2881
Энергоемкость продукции	МДж/ц	105	155	215	271	181
Энергетическая эффективность производства, ЭЭ	-	36,7	24,8	17,9	14,2	21,2

Приложение 20

Энергетическая эффективность производства озимой пшеницы на контуре с содержанием гумуса в почве 3,5% (т.п. №6, Пугачевский район, КФХ «Сарсенбаев Г.Т.»)

Показатель	Единица измерения	Варианты с удобрениями				
		б/у	Naa 34	Naa 68	Naa 102	N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂
Сбор зерн.ед. с 1 га севооборотной площади	Ц	16,0	14,5	14,9	15,6	14,2
Накопленная энергия фито-массы, E _ф	МДж/га	61454	55765	59918	54540	57301
Энергозатраты на посев и уборку	МДж/га	2111	2955	2058	1873	1966
Полные энергетические затраты на возделывание, E _д	МДж/га	5587	9382	11436	14203	7184
Энергопотенциал почвы	ГДж/га	2016	2016	2016	2016	2016
Энергоемкость продукции	МДж/ц	132	407	510	755	249
Энергетическая эффективность производства, ЭЭ	-	29,1	9,4	7,5	5,1	15,5

Приложение 21

Энергетическая эффективность производства озимой пшеницы на контуре с содержанием гумуса в почве 4,5% (т.п. №6, Пугачевский район, КФХ «Сарсенбаев Г.Т.»)

Показатель	Единица измерения	Варианты с удобрениями				
		б/у	Naa 34	Naa 68	Naa 102	N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂
Сбор зерн.ед. с 1 га севооборотной площади	Ц	20,2	22,4	23,4	24,8	23,3
Накопленная энергия фито-массы, E _ф	МДж/га	77586	86036	95254	89564	89876
Энергозатраты на посев и уборку	МДж/га	2665	2955	3271	3074	3087
Полные энергетические затраты на возделывание, E _д	МДж/га	6141	9382	12649	15404	8305
Энергопотенциал почвы	ГДж/га	2592,6	2592,6	2592,6	2592,6	2592,6
Энергоемкость продукции	МДж/ц	119	264	370	512	206
Энергетическая эффективность производства, ЭЭ	-	29,1	14,6	10,4	7,5	18,6

Приложение 22

Экономическая эффективность применения минеральных удобрений под озимую пшеницу на разных по уровню содержания гумуса в почве(т.п. №2)

Варианты удобрений	Выход зерна с 1 га, т	Стоимость валовой продукции с 1 га, руб	Всего затрат на 1 га, руб	Себестоимость, 1 т/руб	Условный чистый доход, руб/га	Уровень рентабельности, %
Без удобр.	2,1*	13020	8341	3971	4679	17,8
	2,6**	16120	8341	3208	7779	142,5
	2,6***	16120	8341	3208	7779	142,5
Naa34	2,8*	17360	9381	3350	7979	138,2
	3,1**	19220	9381	3026	9839	225,1
	3,4***	21080	9381	2759	11699	324,0
Naa68	2,9*	17980	10421	3593	7559	110,4
	3**	18600	10421	3474	8179	135,5
	3,8***	23560	10421	2742	13139	379,1
Naa102	3,1*	19220	11461	3697	7759	109,9
	3,2**	19840	11461	3582	8379	133,9
	3,9***	24180	11461	2939	12719	332,8
Аз.ф. N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂	3,2*	19840	10981	3432	8859	158,2
	3,4**	21080	10981	3230	10099	212,7
	3,4***	21080	10981	3230	10099	212,7

Содержание гумуса в почве *-2,5%, **-4,0%, ***-5,0%

Приложение 23

Экономическая эффективность применения минеральных удобрений под озимую пшеницу на разных по уровню содержания гумуса в черноземе южном (т.п. №6)

Варианты удобрений	Выход зерна с 1 га, т	Стоимость валовой продукции с 1 га, руб	Всего затрат на 1 га, руб	Себестоимость, 1 т/руб	Условный чистый доход, руб/га	Уровень рентабельности, %
Без удобр.	1,3*	11804	8341	6416	3463	-46,0
	2**	18160	8341	4171	9819	135,4
Naa34	1,5*	13620	9381	6254	4239	-32,2
	2,2**	19976	9381	4264	10595	148,5
Naa68	1,6*	14528	10421	6513	4107	-36,9
	2,5**	22700	10421	4168	12279	194,6
Naa102	1,4*	12712	11461	8186	1251	-84,7
	2,3**	20884	11461	4983	9423	89,1
Аз.ф. N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂	1,5*	13620	10981	7321	2639	-64,0
	2,3**	20884	10981	4774	9903	107,4

Содержание гумуса в почве *-3,0%, **-4,5%,

Приложение 24

Баланс азота под озимой пшеницей на черноземе обыкновенном Саратовской области (по данным за 2011 – 2013 гг., т.п.№2, содержание гумуса в почве 2,5 %)

Норма удобрений	Приход, кг/га		Вынос с урожаем азота, кг/га		В сумме	Баланс	Интенсивность баланса, %
	Естественный вынос	Суммарный приход	зерном	соломой			
N34	18,8	52,8	<u>1,84</u> *** 74,0	<u>0,79</u> 36,7	84,6	-31,8	62,4
N68	18,8	86,8	<u>2,63</u> 88,6	<u>0,82</u> 39,4	111,8	-25,0	77,6
N102	18,8	120,8	<u>2,16</u> 103,5	<u>0,84</u> 42,8	105,9	+14,9	114,1

Примечание: 5 кг симбиотическая азотофиксация, 5 кг – с атмосферными осадками, 3,8 кг с семенами, ** - 5 кг для поддержания свободноживущей микрофлоры почвы, *** - содержание N в зерне , **** - содержание N в соломе

Приложение 25

Баланс азота под озимой пшеницей на черноземе обыкновенном Саратовской области (по данным за 2011 – 2013 гг., т.п.№2, содержание гумуса в почве 4,0 %)

Норма удобрений	Приход, кг/га		Вынос с урожаем азота, кг/га		В сумме	Баланс	Интенсивность баланса, %
	Естественный вынос	Суммарный приход	зерном	соломой			
N34	18,8	52,8	<u>1,8</u> *** 74,0	<u>0,69</u> 36,7	90,0	-37,2	58,6
N68	18,8	86,8	<u>2,04</u> 88,6	<u>0,82</u> 39,4	100,5	-13,7	86,4
N102	18,8	120,8	<u>2,09</u> 103,5	<u>0,94</u> 42,8	114,9	+5,9	105,1

Примечание: 5 кг симбиотическая азотофиксация, 5 кг – с атмосферными осадками, 3,8 кг с семенами, ** - 5 кг для поддержания свободноживущей микрофлоры почвы, *** - содержание N в зерне , **** - содержание N в соломе

Баланс азота под озимой пшеницей на черноземе обыкновенном Саратовской области (по данным за 2011 – 2013 гг., т.п.№2, содержание гумуса в почве 5,0 %)

Норма удобрений	Приход, кг/га		Вынос с урожаем азота, кг/га		В сумме	Баланс	Интенсивность баланса, %
	Естественный вынос	Суммарный приход	зерном	соломой			
Без удобр.	13,8*						
N34	18,8	52,8	<u>1,76</u> *** 74,0	<u>0,89</u> 36,7	111,2	-58,4	47,5
N68	18,8	86,8	<u>1,83</u> 88,6	<u>0,95</u> 39,4	130,8	-44,0	66,3
N102	18,8	120,8	<u>2,05</u> 103,5	<u>1,0</u> 42,8	146,2	-25,4	82,6

Примечание: 5 кг симбиотическая азотофиксация, 5 кг – с атмосферными осадками, 3,8 кг с семенами, ** - 5 кг для поддержания свободноживущей микрофлоры почвы, *** - содержание N в зерне , **** - содержание N в соломе