

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
АГРОФИЗИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Филиппов Петр Александрович

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ВОСПРОИЗВОДСТВА ПЛОДОРОДИЯ  
ДЕГРАДИРОВАННОЙ СУПЕСЧАНОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ  
ПОЧВЫ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДА РФ**

Специальность – 06.01.03 - агрофизика

Диссертация на соискание учёной степени

кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:

доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор, член-корреспондент РАН

Иванов Алексей Иванович

Санкт-Петербург – 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
<b>ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ</b>	
1 ОКУЛЬТУРИВАНИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ, ВОСПРОИЗВОДСТВО ПЛОДОРОДИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ.....	15
1.1 Роль окультуривания дерново-подзолистых почв в повышении эффективности земледелия и его сущность .....	15
1.2 Эффективность мелиорантов и удобрений на дерново-подзолистых почвах разной окультуренности.....	24
1.2.1 Агрономическая эффективность удобрений на окультуренных почвах.....	24
1.2.2 Влияние мелиорантов и удобрений на свойства окультуренных почв..	31
2 ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	42
2.1 Условия формирования и современное состояние пахотных почв Северо-Запада России.....	43
2.2 Характеристика объектов исследования.....	53
2.2.1 Агрогенетическая характеристика почвы опыта.....	53
2.2.2 Агрофизическая и агрохимическая характеристика почвы опыта.....	55
2.2.3 Биологические особенности культур полевого и овощекормового севооборотов.....	57
2.2.4 Характеристика использованных в опыте мелиорантов и удобрений...	65
2.3 Методика проведения исследований.....	66
2.4 Агротехнические условия проведения исследований.....	69
2.5 Погодно-климатические условия в годы проведения опыта.....	71
3 ВЛИЯНИЕ СРЕДСТВ ВОСПРОИЗВОДСТВА ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ НА СОСТОЯНИЕ И СВОЙСТВА ПОЧВЫ.....	78

3.1	Трансформация строения почвенного профиля и его морфологических свойств.....	78
3.2	Изменение агрофизического состояния почвы под действием систем воспроизводства почвенного плодородия.....	86
3.2.1	Гранулометрический состав почвы в условиях эксперимента.....	86
3.2.2	Изменение общих физических и водно-физических свойств почвы под действием систем воспроизводства почвенного плодородия.....	96
3.2.3	Структурное состояние почвы в условиях эксперимента.....	102
3.3	Изменение физико-химических свойств почвы в условиях опыта.....	110
3.4	Изменение основных агрохимических свойств почвы.....	115
4	<b>АГРОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОКУЛЬТУРИВАНИЯ СУПЕСЧАНОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО ВОСПРОИЗВОДСТВА ЕЁ ПЛОДОРОДИЯ.....</b>	<b>119</b>
4.1	Агрономическая эффективность использования окультуренных почв в системе полевого севооборота.....	119
4.1.1	Агрономическая эффективность возделывания ячменя с подсевом многолетних трав.....	120
4.1.2	Агрономическая эффективность возделывания многолетних трав.....	121
4.1.3	Агрономическая эффективность возделывания озимой ржи.....	124
4.1.4	Агрономическая эффективность возделывания картофеля в полевом севообороте .....	125
4.1.5	Агрономическая эффективность возделывания однолетних трав.....	126
4.1.6	Агрономическая эффективность окультуривания дерново-подзолистой почвы и её последующего использования в полевом севообороте.....	128
4.2	Агрономическая эффективность использования окультуренных почв в системе овощекормового севооборота.....	130
4.2.1	Агрономическая эффективность возделывания в овощекормовом севообороте картофеля.....	131

4.2.2	Агрономическая эффективность возделывания озимой пшеницы.....	133
4.2.3	Агрономическая эффективность возделывания узколистного кормового люпина.....	135
4.2.4	Агрономическая эффективность возделывания столовой свёклы.....	136
4.2.5	Агрономическая эффективность возделывания белокачанной капусты	137
4.2.6	Агрономическая эффективность возделывания ячменя в овощекормовом севообороте.....	139
4.2.7	Агрономическая эффективность окультуривания дерново- подзолистой почвы и её последующего использования в овощекормовом севообороте.....	140
5	ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОВТОРНОГО ОКУЛЬ- ТУРИВАНИЯ СУПЕСЧАНОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И ЕЁ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПОЛЕВОМ И ОВОЩЕКОРМОВОМ СЕВООБОРОТАХ.....	143
5.1	Затратность агротехнических мероприятий по повторному окультуриванию супесчаной дерново-подзолистой почвы.....	144
5.2	Экономическая эффективность использования почв разной окульту- ренности в системах полевого и овощекормового севооборотов.....	145
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	155
	РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ.....	160
	ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ.....	161
	СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	162
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	197
	ПРИЛОЖЕНИЕ А - Морфологическое описание почвенных разрезов в агрофизическом стационаре в 2011 г.....	198
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б - Морфологическое описание почвенных разрезов в агрофизическом стационаре в 2018 г.....	201
	ПРИЛОЖЕНИЕ В – Гранулометрический состав почвы опыта.....	214
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Общие физические и водно-физические свойства	

почвы .....	220
ПРИЛОЖЕНИЕ Д – Структурное состояние почвы опыта .....	225
ПРИЛОЖЕНИЕ Е – Кислотно-основные свойства почвы.....	233
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж – Экономические затраты на воспроизводство плодородия, применение удобрений и уборку дополнительного урожая	239

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Дерново-подзолистые почвы являются основным средством производства в земледелии и кормопроизводстве Северо-Запада России. Их доля в составе пахотного фонда этого региона составляет 78 % (Благовидов, 1954). При этом природные свойства этих почв неблагоприятны для большинства сельскохозяйственных культур. Их комплексное улучшение в процессе окультуривания осуществлялось здесь за счёт мелиорации, в том числе химической, и применения значительного количества органических и минеральных удобрений (Сапожников, Корнилов, 1977; Небольсин и др., 1997; Иванов, Иванов, 2006). Уровень их среднегодового использования по областям региона достигал к концу 80-х годов 8-20 т/га органических, 0,17-0,35 т/га минеральных удобрений и 0,7-0,9 т/га извести. На этом фоне удалось существенно сократить долю сильно- и среднекислых почв, а также слабообеспеченных подвижными соединениями фосфора и калия. Практически в 4 раза (с 5 до 20 %) в масштабе региона увеличился фонд хорошо окультуренных почв, а в Ленинградской области он вплотную приблизился к половине всех пахотных угодий (Небольсин и др., 1997; Ефимов, Иванов, 2001).

Несмотря на относительно малую долю распространения хорошо окультуренного вида дерново-подзолистых почв, их агроэкономическое значение для сельского хозяйства как Ленинградской области, так и всего Северо-Западного региона в целом велико. Они существенно превосходят свои слабо- и среднеокультуренные аналоги по экономической эффективности возделывания на них большинства сельскохозяйственных культур (Пестряков, 1977; Никитин, 1986; Иванов, 2000). По некоторым оценкам, в прошедшее 25-летие на этих почвах производилось от 60 до 80 % товарной продукции земледелия в регионе (Иванов и др., 2010; Архипов и др. 2016, 2018). Это стало, с одной стороны, решающим фактором выживания в условиях ограниченности финансовых ресурсов сельхозтоваропроизводителей (Сычев, 2008;

Белоус, 2009; Иванов и др., 2016). С другой стороны, в условиях резкого сокращения объёмов применения мелиорантов и удобрений это ускорило развитие скрытых деграционных процессов в почве (Шафран, 2004, 2016; Литвинович и др., 2005, 2009; Иванов и др., 2010, 2016; Архипов и др., 2016). На этом неблагоприятном фоне доля хорошо окультуренных почв сократилась до уровня середины XX-го столетия, оцениваемого в 5 % (Архипов и др., 2016, 2018).

По данным доклада о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения в РФ (2021), 41 %, пахотных почв Северо-Запада России нуждаются в известковании, 79 % - слабо обеспечены гумусом, 23 % - подвижным калием, 11 % - подвижным фосфором. По оценкам региональных ученых, эта проблема, наряду с нежелательными климатическими изменениями, является одним из главных рисков продовольственной безопасности Северо-Запада России (Архипов и др., 2018). Обострению последних способствует существенное повышение вероятности неблагоприятных погодноклиматических явлений в течение вегетационного периода (волн холода, поздне-весенних засух, ливневых осадков в конце вегетации) (Иванов, Кирюшин, 2009; Усков, Усков, 2014). Прямым подтверждением этого стал существенный рост вариабельности продуктивности земледелия в ведущей по объёмам производства в регионе Ленинградской области. Её уровень в последнее 5-летие у требовательных к плодородию почвы овощных культур и картофеля увеличился с 10 до 17 и с 6 до 23 % соответственно.

В этих условиях особую актуальность приобретают вопросы повторного окультуривания (ускоренного воспроизводства плодородия) подвергшихся деграционным процессам пахотных дерново-подзолистых почв, а вместе с этим, поиска путей повышения экономической и энергетической эффективности этого коренного агротехнического мероприятия, а также более эффективного управления плодородием вновь окультуренных почв. Рациональное использование последних становится одной из главных задач, а иногда и ус-

ловием самого существования сельскохозяйственных предприятий (Архипов и др., 2015, 2016, 2018).

**Степень разработанности темы.** Различные аспекты окультуривания дерново-подзолистых почв начали системно изучаться в нашей стране в 30-е годы 20-го века. Усилиями крупных учёных М. А. Егорова (1929), А. Т. Кирсанова (1931), Н. А. Качинского (1933), Н. П. Карпинского (1933), В. А. Францессона (1934), М. Г. Чижевского и С. А. Захарова (1936) и др. разрабатывались методы изучения и оценки эффективного плодородия почвы, устанавливались параметры изменения отдельных свойств и их классификации. Академик Дмитрий Николаевич Прянишников (1962), подводя итоги сравнительно-генетических исследований этого периода, указывал: «Дерново-подзолистые почвы настолько бесплодны от природы, что земледельцу приходится больше заботиться не о сохранении их плодородия, а о воссоздании его заново...». Более полные комплексные исследования в разных частях Нечернозёмной зоны были развёрнуты в середине 20-го века трудами выдающихся агропочвоведов: Николая Аркадьевича Сапожникова (1939, 1969, 1971, 1977), Николая Львовича Благовидова (1954, 1962, 1968); Михаила Фёдоровича Корнилова (1937, 1969, 1977); Виктора Анатольевича Семёнова (1966, 1968, 1970, 1971), Николая Сергеевича Авдоница (1969, 1972), Василия Корнеевича Пестрякова (1977), Александра Александровича Короткова (1970, 1972), Федора Ивановича Левина (1972), Тамары Никандровны Кулаковской (1974; 1978). Позднее вопросы эффективного использования химических мелиорантов и удобрений и фундаментальные аспекты трансформации дерново-подзолистых почв на Северо-Западе России стали основным предметом исследований в работах А. Н. Небольсина (1972, 1983, 1981, 1997, 2005, 2010), В. А. Семёнова (1972, 1977, 1984, 1992), Б. А. Никитина (1977, 1983, 1986), И. Н. Донских (1982, 1997, 2002), В. Н. Ефимова (1985, 2001, 2002), И. А. Иванова (1989, 1993, 1998, 2002, 2004), А. В. Литвиновича (2003, 2005, 2011) и ряда других исследователей. Более масштабное изучение проблемы применительно к современным условиям Псковской области пред-



ставлено в работах А. И. Иванова с соавт. (1991, 1994, 1998, 2001, 2004, 2006, 2010, 2015, 2016).

За 4 последних десятилетия исследований были достаточно полно изучены и оценены количественно параметры изменения отдельных свойств дерново-подзолистых почв при окультуривании, затраты удобрительных материалов на воспроизводство, продуктивные и непродуктивные потери питательных веществ, условия эффективного использования удобрений и многое другое. Однако современные быстро меняющиеся условия (агроклиматические, почвенные, социально-экономические и хозяйственные) актуализируют дальнейший поиск средств и методов безопасного и эффективного управления плодородием окультуренных дерново-подзолистых почв и продукционным процессом посевов на них.

#### **Цель и задачи исследования**

Целью исследования была комплексная (агрофизическая, агрохимическая и агроэкономическая) оценка спроектированных агротехнических мероприятий по повторному окультуриванию (расширенному воспроизводству плодородия) подвергшейся деградации супесчаной дерново-подзолистой почвы и последующему её использованию в севооборотах разной интенсивности. Для её достижения решался комплекс задач:

- 1) установить закономерности относительно влияния изучаемых факторов (мелиорантов, системы удобрения, типа севооборота) на морфологические, физические, физико-химические и агрохимические свойства почвы;
- 2) выявить причины и параметры деградационных процессов в почвах разной окультуренности, условия их замедления или предотвращения;
- 3) оценить агрономическую и экономическую эффективность спроектированных агротехнических мероприятий по воспроизводству плодородия подвергшейся деградации дерново-подзолистой почвы и по её использованию в полевом и овощекормовом севооборотах.

#### **Научная новизна исследования**

Научная новизна исследования заключается:

- в получении комплексной информации по малоизученному объекту повторно окультуренной почве, ранее подвергшейся деградации;
- в обосновании возможности экономически эффективного ускоренного окультуривания деградированной дерново-подзолистой почвы.

**Теоретическая значимость диссертационной работы состоит:**

- в установлении параметров трансформации свойств хорошо окультуренной супесчаной дерново-подзолистой почвы вследствие деградации в условиях экстенсивного ведения земледелия и последующего повторного её окультуривания;
- в уточнении роли мелиорантов, севооборота и минеральных удобрений в системе агротехнических мероприятий по расширенному воспроизводству плодородия деградированной дерново-подзолистой почвы и оптимизации продукционного процесса сельскохозяйственных растений.

**Практическая значимость работы заключается** в разработке рекомендаций по экономически эффективному (на базе местных ресурсов мелиорантов) повторному окультуриванию деградированной дерново-подзолистой почвы и совершенствованию системы удобрения на ней, включённых в коллективную монографию «Производство, изучение и применение удобрений на основе птичьего помёта» (2018).

**Методология и методы исследований.** Методология научного исследования базировалась на сочетании фундаментальных методических принципов (детерминизма, системности, динамичности) с принципами экологической безопасности и хозяйственной целесообразности. Её реализация осуществлялась использованием полевого и лабораторного методов исследования, сочетающих в себе методы полевого опыта, почвенно-генетического исследования с многочисленными физико- и химикоаналитическими исследованиями изучаемых объектов: почв, удобрений, растений.

**Положения, выносимые на защиту:**

- параметры изменения морфологических, физических, физико-химических и агрохимических свойств почвы определяются в большей сте-

пени дозами мелиорантов, в меньшей – степенью интенсивности минеральной системы удобрения и типом севооборота;

- отзывчивость полевых и овощных культур на окультуривание дерново-подзолистой почвы и применение удобрений определяется их биологическими особенностями, погодно-климатическими и фитосанитарными условиями;

- коэффициент использования ФАР посевами полевых и овощных культур определяется в большей степени их биологическими особенностями и уровнем окультуренности почвы, в меньшей – системой удобрения;

- агрономическая эффективность минеральной системы удобрения снижается по мере повышения степени окультуренности почвы, однако в сочетании с другими агротехническими факторами (мелиоранты, севооборот) она позволяет увеличить доходность 1 га севооборотной площади в два раза.

**Степень достоверности.** Необходимая для качественной и объективной оценки достоверность результатов научных исследований и выводов на их основе обеспечена строгим соблюдением всех методических принципов и требований к закладке и проведению полевых опытов, закладке почвенных разрезов, отбору образцов, подготовке и выполнению агрофизических и химико-аналитических испытаний при организационно-методическом контроле научно-методического совета ФГБНУ АФИ. Её математическим подтверждением являются данные статистической обработки основных результатов экспериментальных исследований, выполненной дисперсионным методом.

**Апробация работы.** Результаты диссертационного исследования докладывались на научных сессиях, Всероссийских и Международных научно-практических конференциях ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт в 2011-2021 гг., на научной конференции профессорско-преподавательского состава СПбГАУ 26-28 января 2012 года, на международной научной конференции: «XV Докучаевские молодёжные чтения «Почва как природная биогемембрана» 1-3 марта 2012 года, на международной конференции «Тенденции развития агрофизики в условиях изме-

няющегося климата» (к 80-летию Агрофизического НИИ) 20-21 сентября 2012 года, на международной научной конференции «XVI Докучаевские молодёжные чтения «Законы почвоведения: новые вызовы»» 4-6 марта 2013 года, на Всероссийской школе молодых учёных и специалистов в Суздале 3-6 июля 2013 года, на научной сессии Агрофизического института по итогам 2013 года 20-21 марта 2014 года в Санкт-Петербурге, на международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава СПбГАУ «Научное обеспечение инновационного развития АПК» в 2014 году, на Всероссийской с международным участием научной конференции: «Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны» в Белгороде 15–22 августа 2016 года, на Всероссийской конференции с международным участием «Агроэкосистемы в естественных и регулируемых условиях: от теоретической модели к практике прецизионного управления» в Санкт-Петербурге 21-23 сентября 2016 года, на международной научно-практической конференции: «Мелиорация. Современные методики, инновации и опыт практического применения» в Минске 19-20 октября 2017 года, на международной научно-практической конференции «Высокопродуктивное и экологически чистое агрохозяйство на мелиорированных землях» в Твери (ФГБНУ ВНИИМЗ) 30 сентября 2019 года, на международной научно-практической конференции «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего». Санкт-Петербург (ФГБНУ АФИ) 2-4 октября 2019 года, на международной научно-практической конференции «Современное состояние, приоритетные задачи и перспективы развития аграрной науки на мелиорированных землях» в Твери (ФГБНУ ВНИИМЗ) 30 сентября 2020 года, на III международной научной конференции «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего» в Санкт-Петербурге (ФГБНУ АФИ) 14-15 сентября 2021 года.

**Организация исследования и личный вклад соискателя.** Вся экспериментальная работа выполнялась в отделе физико-химической мелиорации

почв и опытного дела ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт в соответствии с заданием № 0667-2014-0008 и № 0667-2019-0015 «Создать теоретические основы и усовершенствовать методы планирования и проведения многоуровневых опытов и мониторинга состояния почвенно-растительных комплексов на основе развития физико-механической базы адаптивно-ландшафтного земледелия, математического и физического моделирования агроэкосистем». На заключительном этапе исследование выполнялось при частичной финансовой поддержке в рамках крупного научного проекта Минобрнауки России (соглашение № 075-15-2020-805 от 2 октября 2020 г.) «Актуальные научные задачи стратегии адаптации потенциала землепользования России в современных условиях беспрецедентных вызовов (экономический кризис, изменения климата, кризис глобальных тенденций природопользования)».

Планирование, закладка опыта, выполнение программы наблюдений, учётов и анализов, а также обобщение результатов экспериментальной работы выполнялись соискателем лично и в качестве ответственного исполнителя исследований. Личный вклад в общий объём диссертационного исследования оценивается в 80%, доля участия в научных публикациях – 62%, в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ – 40%.

**Публикации.** По материалам диссертационного исследования опубликовано 24 научных работы, из них 5 в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

**Структура и объём диссертации.** Диссертационная работа включает оглавление, введение, 5 разделов основной части, заключение, рекомендации производству, список использованной литературы, приложения. Общий объём диссертации 247 страниц печатного текста, включает 14 рисунков и 38 таблиц в тексте и 21 – в приложениях. В списке литературы 324 источника, в том числе 25 на иностранных языках.

**Благодарности.** Выражаю искреннюю благодарность за оказанную помощь в закладке экспериментов сотрудникам отдела 

Оленченко Е. А.
-----------------

,

Смирновой Н. В.; за помощь в химико-аналитическом сопровождении исследований - всем сотрудникам испытательных аналитических лабораторий Меньковской опытной станции и Агрофизического НИИ под руководством Ю. В. Хомякова; в определении параметров структурного состояния почвы кандидату с.-х. наук К. Г. Моисееву. Особая благодарность за всестороннюю помощь в организации и обобщении результатов исследований научному руководителю доктору сельскохозяйственных наук, профессору, член-корреспонденту РАН А. И. Иванову.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

### 1 ОКУЛЬТУРИВАНИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ, ВОСПРОИЗВОДСТВО ПЛОДородия И ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ

Дерново-подзолистые почвы стали объектом пристального внимания почвоведов со второй половины XIX века. Сам термин был введён В. В. Докучаевым. Однако одно из первых масштабных географических исследований почв Северо-Запада России было выполнено под руководством Константина Дмитриевича Глинки – автора первого отечественного учебника по почвоведению (Глинка, 1931). Уже в это время стали выясняться причины «бесплодия» местных почв, которое позднее ярко описал академик Д. Н. Прянишников: «Дерново-подзолистые почвы настолько бесплодны от природы, что земледельцу больше приходится заботиться не о сохранении их плодородия, а о воссоздании его заново...» (1962).

#### 1.1 Роль окультуривания дерново-подзолистых почв в повышении эффективности земледелия и его сущность

Наиболее полные комплексные исследования генезиса дерново-подзолистых почв и их трансформации в процессе сельскохозяйственного окультуривания были выполнены в середине XX века Н. Л. Благовидовым (1954), Д. Ф. Маймусовым (1963), А. С. Коноваловой (1967), Ф. И. Левиным (1972), Б. А. Никитиным (1976), В. К. Пестряковым (1977). В их представлении окультуривание дерново-подзолистых почв являет собой совокупность агромелиоративных и агротехнических приёмов, направленных на коренное изменение условий почвообразования и, как следствие, совокупности биологических, физических, физико-химических и агрохимических свойств почв. Наиболее действенными, с позиций окультуривания зональных почв, признаются такие агротехнические приёмы,

как механическая обработка, осушительная и химическая мелиорация, возделывание многолетних трав, интенсивное применения органических и минеральных удобрений (Авдонин, 1969, 1972; Левин, 1972; Корнилов и др., 1969; Сапожников, Корнилов, 1977; Кулаковская, 1978; Иванов, Иванова, 1993; Иванов, 2000; Ефимов, Донских, Царенко, 2002; Дубенок, 2013; Сычѳв, 2019).

Решающее значение окультуривания почв в эффективности земледельческой отрасли было подтверждено в серии длительных экспериментов. Так, по данным М.Ф. Корнилова (1965), в результате окультуривания дерново-подзолистой легкосуглинистой слабоокультуренной почвы, имеющей исходный рН 4,6-4,8, за ротацию 6-польного севооборота при внесении полной дозы извести (8 т на 1 га) прибавка урожая составила 5760 кормовых единиц. Особенно высока отзывчивость на комплексную оптимизацию агрофизического и агрохимического состояния почвы у наиболее требовательных к плодородию культур. Например, продуктивность овощного севооборота при окультуривании суглинистой почвы может возрасти от 2 до 5 раз (с 1,8-2,3 до 4,9-9,7 т/га з.ед. в год) (Иванов, 1997; Борисов, 2016). Несколько менее требовательный к почве картофель реагировал на комплексное окультуривание повышением урожайности клубней на 42 % (с 16,8 до 23,8 т/га) (Пестряков, 1970).

Отзывчивость отдельных культур на агромелиоративные и агротехнические мероприятия в конкретных агроэкологических условиях во многом определяется их биологическими особенностями, то есть потребностью в соответствующих условиях. Например, только ликвидация засоренности пашни камнями приводила к увеличению урожайности зерновых культур на 0,2 т/га (24 %), картофеля – на 2,2 т/га (30 %), овощных – на 4,7 т/га (29 %) (Пестряков, 1970).

Агрономическая эффективность известкования детально изучалась в Северо-Западном НИИСХ (ныне Ленинградский НИИСХ «Белогорка» — филиал ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха») (табл. 1).



Таблица 1 - Средние прибавки урожая сельскохозяйственных культур  
от известкования кислых дерново-подзолистых почв, ц/га  
(по Пестрякову, 1977)

Культуры	В среднем по зоне		В совхозе «Детскосельский» Ленинградской области
	на сильно- и среднекислых почвах	на слабокислых почвах	
Озимые	2,2 – 3,9	0,5 – 1	2,5-3,5
Яровые	2 – 2,6	0,5 – 0,6	-
Зернобобовые	2-3	1 – 1,5	4-6
Кукуруза (зеленая)	42	20	60-96
Картофель	15	5	18-23
Многолетние травы (клевер)	15	7	10-14
Капуста белокачанная	70	30	58-90
Свекла столовая	55	25	21-32
Морковь	45	15	-
Кормовые корнеплоды	57	25	40-65
Лен (соломка)	3	1	-

Положительно отзываются на известкование сильно- и среднекислых почв даже такие малотребовательные культуры как лён-долгунец и кормовой люпин.

Данные длительных научно-производственных исследований профессора И. А. Иванова (1989) показали, что постепенное окультуривание (переход от слабо- к хорошо окультуренному состоянию) за счёт мелиорации и применения удобрений позволяет повысить урожайность зерновых с 0,6-0,8 до 3,0-3,4 т/га, картофеля – с 8,0-12,0 до 22-27 т/га, сена многолетних трав с 1,0-1,2 до 3,6-4,2 т/га. И ещё более значимы прибавки по требовательным к плодородию культурам южного происхождения, таким как кукуруза, столовые и кормовые корнеплоды. Менее других на отдельные окультуривающие мероприятия отзывались лишь такие специфичные культуры, как люпин кормовой или лён-долгунец, предпочитающие средне- и слабокислые почвы (Мордашёв, 1969; Иванов, 1989, 1993; Такунов, 1996 Гудкова, 1999).

Значение окультуривания столь высоко, что даже при полном отказе от удобрений в течение 21 года в зернопропашном и 11 лет – в

зернотравянопропашном севооборотах среднегодовой сбор растениеводческой продукции достигает 5,2-5,5 т/га з.ед. (Иванов и др., 2010, 2016). Результаты опытов подтвердили и распространённое в производстве мнение о возможности многолетнего получения на окультуренных дерново-подзолистых почвах приемлемых урожаев без применения удобрений. Урожайность в контрольных вариантах без удобрений составила: ржи озимой – 3,57-3,92, ячменя – 3,62-4,04, овса – 3,10, зеленой массы клевера – 32,8, льносоломы – 8,71, картофеля – 14,3-23,5, кормовой свеклы – 41,6, зеленой массы кукурузы – 29,0 т/га. (Иванов и др., 2016; Воробьёв, 2016). Это обстоятельство послужило основанием для отнесения окультуренных дерново-подзолистых почв к одному из важных объектов стратегического резерва страны, способного обеспечить продовольственную безопасность в самых критических условиях обеспечения (Ефимов, Иванов, 2001; Архипов и др., 2018).

Такая высокая агрономическая эффективность и длительное последствие окультуривания объясняются существенной перестройкой почвообразовательного процесса и, как следствие, почвенных свойств.

Учёные Северо-Запада России (Благовидов, 1954; Левин, 1972; Пестряков, 1977) сходились во мнении, что в почвообразовательном процессе целинных дерново-подзолистых почв доминируют нежелательные явления, связанные с преобладанием здесь процесса подзолообразования, сопровождающегося глубоким разложением минералов (под действием фульвокислот и органического вещества неспецифичной природы) в верхних горизонтах почвы и выносом продуктов их распада в нижние слои. Основными факторами этого процесса выступают фульвокислотный (из-за недостатка кальция и высокой кислотности) тип гумусообразования и промывной водный режим (Роде, 1937; Маймусов, 1963; Левин, 1972; Коротков, 1972). По современным представлениям, разрушению минералов обязательно предшествует стадия «расшатывания» их кристаллической решётки в восстановительных условиях избыточного увлажнения

(Зайдельман, 1991).

В окультуренных дерново-подзолистых почвах, напротив, усиливается роль дернового процесса и аккумуляции в формировании почвы за счёт коренных преобразований в биологическом круговороте органических и минеральных веществ (Пестряков, 1970, 1977; Левин, 1972; Гагарина и др., 1995; Иванов, Спасов, Иванов, 1998). Ввиду изменения хода почвообразовательного процесса при окультуривании значительному изменению подвержена и морфология окультуренных почв. При этом можно заметить различие в представлении данного процесса разными группами учёных. По одной из версий, окультуривание нивелирует подзолистый процесс, заменяя его дерновым (Благовидов, 1954; Долотов, 1965; Коновалова, 1967). При этом профиль почвы, по мнению исследователей, приобретает строение: Апах. – А1 – В – С. С другой же точки зрения, окультуривание только замедляет подзолистый процесс, действие которого на пахотный горизонт и профиль почвы в целом не останавливается по причине воздействия его главной движущей силы – промывного водного режима почвы (Коротков, 1972; Пестряков, 1977). Почвенный же профиль окультуренных почв практически всегда представлен набором горизонтов Апах. – А1 (А1А2) – А2В – В – С.

Даже этот факт позволяет заключить, что в окультуренных дерново-подзолистых почвах складывается достаточно сложное соотношение аккумулятивного и элювиально-иллювиального процессов. Следствием аккумулятивного процесса является гомогенизация почвенной массы, объединяющая гумусонакопление, оструктуривание и накопление питательных веществ. При этом возникает новый генетический горизонт Апах., с оптимизированными в разной степени свойствами, функционирующий как единое целое (Пестряков, 1977; Никитин, 1986).

Как уже было отмечено, в окультуриваемых дерново-подзолистых почвах, параллельно аккумулятивным, продолжают действовать активные элювиально-иллювиальные процессы (Коротков, 1972). Морфологически они на-

ходят отражение в выносе подвижных соединений гумуса и железа, извести, а также глинистого, гумусово-глинистого и суспензионного вещества, и, кроме того, в диспергации и обесструктурировании. Элювированию подвержена большая часть пахотного слоя, а иллювированию – нижняя часть пахотного слоя, плужная подошва и подпахотная толща вплоть до глубины 1 м и более. Суспензии состоят из гумусированного мелкозема пахотного слоя, который необратимо теряется. Активность этого процесса находится в обратной зависимости от оструктуренности пахотного слоя.

К настоящему времени сформировалось устойчивое мнение об усилении процесса обезиливания – потери самой тонкой части почв пахотными горизонтами при вовлечении их в сельскохозяйственное производство (Коротков, 1972; Кирюшин, 1996). Интенсивность этих процессов во многом зависит от физических и водно-физических свойств дерново-подзолистых почв определяющихся гранулометрическим составом исходных пород, их сложением, выраженностью подзолистого процесс, структурой порового пространства и размером элементарных частиц (Шейн, Девин, 2007). Целинные дерново-подзолистые почвы бесструктурные, их плотность заметно увеличивается при переходе от верхних горизонтов к нижним (Маймусов, 1963; Кауричев, 1982). Иллювиальный горизонт отличается повышенной плотностью и наименьшей пористостью. В суглинистых почвах из-за его слабой водопроницаемости в подзолистом горизонте может создаваться временная верховодка. Однако, при окультуривании большинство неблагоприятных физических свойств целинных дерново-подзолистых почв нивелируется. Если говорить об изменении весьма важных для плодородия физических свойств окультуриваемых почв, то необходимо иметь в виду исследования Ф. И. Левина (1972), которыми было выявлено, что распашка целинной лесной почвы ведёт к снижению её средней плотности на  $0,23 \text{ г/см}^3$ . При этом было также отмечено возрастание общей пористости на 8,6 % и некапиллярной пористости – на 6,6 %. Изменение этих показателей обуславливает улучшение водного, воздушного и теплового режимов, которое ведёт к значительному увели-

чению микробиологической активности почвы и перестройке биохимических процессов почвообразования (Глобус, 2000).

Наряду с механической обработкой почвы ключевое значение в оптимизации агрофизических свойств и режимов дерново-подзолистых почв при окультуривании играют осушительные и оросительные мелиорации, а также химическая мелиорация в форме известкования и применения органических удобрений (Пестряков, 1970; Шеин, 2003; Байбеков, 2012; Дубенок, 2013; Иванов, Конашенков, 2018; Иванов, Янко, 2019; Pves et al., 2020).

Данные большинства исследований показывают, что, несмотря на известный консерватизм агрофизических свойств (Шеин, Гончаров, 2006) для их существенной оптимизации требуется применение высоких доз органических удобрений в течение не менее чем одной ротации полевого севооборота (Shevchenko et al., 2020). Как правило, положительные изменения затрагивают илистую фракцию, структурное состояние и водно-воздушные свойства дерново-подзолистой почвы (Глобус, 2000; Шеин, 2003; Балашов, Моисеев, 2009; Моисеев, 2011; Фрейдкин и др., 2014; Шеин, Милановский, 2014; Иванова, Иванов, 2018). При этом положительный эффект достигается как за счёт применения традиционных органических удобрений (в том числе на основе птичьего помёта) (Ковалёв, Барановский, Шутов, 2009; Байбеков, 2012; Фрейдкин и др., 2014; Производство, изучение и применение..., 2018; Doyeni et al., 2021), так и сапропеля (Иванов, Иванова, Моисеев, 2005) или даже люпиновых посевов (Иванов, 1989; 1989; Иванова, 2003). Положительный же отклик основной агрофизической характеристики почвы является, как правило, следствием увеличения абсолютного содержания илистой фракции и улучшения её физико-химического состояния (Глобус, 2001).

Отказ от систематического применения органических удобрений при интенсивной обработке почвы ведёт к противоположным (деградационным) процессам, затрагивающим в первую очередь структурное состояние и водно-воздушный её режим (Moiseev, Romanov, 2004; Иванова, Иванов, 2018). Негативным последствием изменяющихся условий может иметь и выражен-

ное сокращение глубины и периода промораживания почвы в зимний период на Северо-Западе России, так как криогенез играет важную роль в формировании почвенной структуры и структуры порового пространства (Скворцова, Шеин, Абросимов и др., 2018; Иванов, Конашенков, 2018).

Анализируя изменение физико-химических свойств исследуемых почв при окультуривании следует иметь ввиду, что целинные дерново-подзолистые почвы характеризуются невысокой емкостью обмена (от 2-4 в песчаных до 12-17 смоль(экв)/кг – в суглинистых почвах) (Сычёв, 2013), низкой насыщенностью основаниями (менее 50 %), кислой реакцией и малой буферностью (Тюлин, 1971). Низкая емкость обмена связана с низким содержанием гумуса в целинных дерново-подзолистых почвах, его фульватным составом и с заметной обедненностью верхней части профиля илом и минеральными коллоидами (Лыков, 1976; Пестряков, 1977). Наименьшей емкостью характеризуется подзолистый горизонт, наибольшей — иллювиальный. Кроме того, дерново-подзолистые почвы имеют повышенную обменную кислотность, обусловленную наличием в ППК, главным образом, ионов алюминия и в меньшей степени - водорода (Небольсин, Небольсина, 1981, 2005, 2010).

Радикальным и всеобъемлющим средством оптимизации кислотно-основного состояния дерново-подзолистых почв является химическая мелиорация – известкование (Авдонин, 1969; Корнилов и др., 1971; Шильников, 2004; Небольсин, Небольсина, 2010). Под действием этого агротехнического приёма оптимизация кислотно-основных свойств обычно идет опережающими темпами (Иванов, Спасов, Иванов, 1998; Иванов, 2000). Нейтрализация агрессивных органических кислот резко ослабляет подзолообразование, видоизменяет почвенный микробиом, усиливает биологическую активность, осаждает почвенные коллоиды и способствует оструктуриванию почвы (Postnikov et al., 2020).

В процессе окультуривания дерново-подзолистых почв, при усилении роли дернового процесса с одновременным ослаблением роли процесса под-

золообразования, происходит существенная трансформация их агрохимических свойств. Помимо образования и закрепления гумусовых веществ, в пахотном слое усиливается процесс биогенного синтеза минералов (Ковда, 1956), а также активность и ёмкость как органической, так и минеральной части почвы. Становится более высокой насыщенность почвы основаниями и снижаются все виды её кислотности (Кулаковская, 1978; Иванов, 2000; Цыганова, 2007; Небольсин, Небольсина, 2010; Merzlaya, 2021).

Резкое увеличение прихода исходных гумусообразователей за счёт внесения органических удобрений и поуборочных остатков позволяет нарастить запасы гумуса в верхнем пахотном слое почвы до 2 и более раз (Кононова, 1951; Левин, 1972; Александрова, 1972; Иванов, Иванов, 2000; Chang et al., 2014). В сочетании с известкованием удаётся улучшить и качественный состав гумуса. В хорошо окультуренных почвах доля гуминовых кислот значительно увеличивается (Каранухова, 1965; Коротков, 1970, 1972; Пестряков, 1970; Левин, 1972; Александрова, 1980; Иванов, Иванов, 2000; Сычев, 2018) и может достигать половины, а иногда и более от общего количества гумусовых кислот. Кроме того, при детальном изучении трансформации гумусного состояния при окультуривании (Александрова, 1972; Иванов, Иванов, 2000; Литвинович, Павлова, Чернов, 2003; Иванов, Иванов, Цыганова, 2004; Цыганова, 2007; Чеботарев и др., 2009) отмечалось образование высококачественной фракции гумуса – гуматов кальция, содержание которых в высокоокультуренных почвах достигало 12,6 и более %.

Таким образом, для окультуривания дерново-подзолистых почв характерно воздействие практически на все природные факторы почвообразования. Одним из главных условий формирования обновлённого природно-антропогенного тела, которое представляет собой хорошо окультуренная дерново-подзолистая почва, является регулярный и продолжительный характер такого воздействия. В зависимости от исходных свойств почвы и её податливости улучшающему влиянию этот период может достигать от 10 до 25-40 лет. При этом важнейшим рычагом влияния на ключевые для плодородия

свойства окультуриваемых дерново-подзолистых почв является применение мелиорантов и удобрений, рациональное использование которых в данных условиях является неотъемлемой составной частью и успешного хозяйствования и предотвращения противоположных, деграционных, процессов. Именно вынужденное обстоятельствами пренебрежение этим в течение 1990-2000 гг. стало причиной деградации объекта нашего исследования.

## 1.2 Эффективность мелиорантов и удобрений на дерново-подзолистых почвах разной окультуренности

### 1.2.1 Агрономическая эффективность удобрений на окультуренных почвах

Несмотря на то, что интенсивным окультуриванием в 60-80-е годы была охвачена практически вся пашня, а также улучшенные сенокосы и долголетние культурные пастбища, к началу 90-х годов доля хорошо окультуренных почв на Северо-Западе России не превышала 15-20 % (Иванов, Иванова, Иванов, 1994; Небольсин и др., 1997; Иванов, 2000). По причине слабой представленности и, по сути, нетипичности этих почв для производственных условий, они долгое время находились вне поля зрения учёных. Рекомендации по применению удобрений на них нередко носили противоречивый характер. Так, в науке доминировало мнение о закономерном снижении эффективности удобрений по мере роста плодородия почв (Корнилов, Сапожников, 1969; Кук, 1970; Авдонин, 1972; Кулаковская, 1978; Ефимов, Донских, Сеницын, 1987; Минеев, 1989; Ефимов, Донских, Царенко, 2002;).

Однако, в условиях достаточного обеспечения удобрениями и известью предполагалось, что для получения необходимых прибавок урожайности культур и продуктивности севооборотов вполне оправдано увеличение их доз. Вероятно, именно такой подход стал одной из важных причин опережающих темпов увеличения доли зафосфаченных и закалиенных почв



(Иванов, Иванова, Иванов, 1991, 1994; Иванова и др., 1997). Для объективной оценки этого явления потребовалось совершенствование не только методики обследования почв, но и самой агрохимической классификации (Иванов, Иванова, Иванов, 1994; Иванов, 2000; Минеев и др., 2001). Было предложено деление шестой классификационной группы на три: слабо-, средне- и сильнозакисленные и закисленные почвы. Авторами были установлены фактические параметры свойств хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв. Например, в Псковской области их  $pH_{KCl}$  составлял 6,4, содержание гумуса – 2,4%, легкогидролизуемого азота и подвижных соединений фосфора и калия – 72, 380 и 310 мг/кг соответственно (Ефимов, Иванов, 2001). При наличии в регионе обширных площадей слабо- и среднеобеспеченных элементами питания почв отсутствие учёта этого обстоятельства было одной из причин невысокой отдачи от удобрений в производственных условиях (Иванов, 1989; Державин и др., 2008; Завалин и др., 2010).

Позднее было установлено, что условия эффективности удобрений на окультуренных дерново-подзолистых почвах имеют специфичный характер, определяющийся комплексом сопутствующих агроэкологических условий. На фоне оптимизированных агропроизводственных свойств у таких почв нуждаемость сельскохозяйственных культур в отдельных элементах питания в составе удобрений может сильно изменяться (Дерюгин, 1988; Иванов, Иванов, Семенова, 1996; Иванов, Иванов, Иванова, 2002; Державин и др., 2008; Борисов, 2016). Так, на фоне нейтрализации почвенной кислотности и зафосфачивания резко возрастает потребность в применении микроудобрений, содержащих бор, железо, марганец и цинк, а молибденовых – сокращается (Анспок, 1990; Битюцкий, 1991; Гудкова, 1999)

Существенный вклад в отзывчивость на применение удобрений вносит и фитосанитарное состояние посевов (Завалин и др., 2010). В последние два десятилетия фитосанитарная обстановка существенно ухудшилась по большинству вредоносных объектов. По этой причине вклад фактора защиты

растений в повышение продуктивности полевых севооборотов увеличился в последнее время практически вдвое (Иванов, Конашенков и др., 2016). По данным А. М. Шпанёва (2017, 2018), применение комплексных защитных мероприятий в длительном опыте позволило повысить продуктивность ячменя, картофеля, озимых зерновых, рапса ярового в 2-3 раза.

Но и при этом в эффективности отдельных видов удобрений и систем их применения решающую роль играет степень обоснованности их использования под конкретную культуру. В Нечернозёмной зоне выполнены многочисленные исследования, подтверждающие высокую агрономическую эффективность азотных удобрений, в том числе и на окультуренных почвах (Кореньков, 1999; Осипов, Соколов, 2001; Завалин, Пасынков, 2007; Шафран, Сычев, Кондратьев, 2013; Лукин и др., 2018). Несмотря на то, что целый ряд авторитетных специалистов предполагал закономерное снижение отдачи от азотных удобрений по мере увеличения плодородия почвы и её микробиологической активности (Тюрин, 1934; Cornfield, 1960; Кононова, 1963; Петербургский, 1970; Помазкина, 1998; Трепачёв, 1999), данные полевых экспериментов на Северо-Западе России говорили об обратном (Сапожников и др., 1973; Иванов, 1993). Поиск ответов на это противоречие заставил усовершенствовать методы оценки азотного режима почв (Сапожников, 1973; Кореньков, 1999).

Обобщение данных длительных экспериментов показало, что по мере повышения обеспеченности растений всеми питательными веществами, потребность растений в азоте возрастает опережающими темпами (Стребкова, 1989; Дозорцева, 1991; Сдобникова, 1991; Шафран, 1995; Кидин, 1996; Ефимов, Донских, Царенко, 2002; Иванов и др., 2010; Шафран и др., 2010; Сычёв, Шафран, 2013). При этом высокая эффективность азотных удобрений объясняется несколькими причинами. Во-первых, низкой микробиологической активностью даже хорошо окультуренной почвы в начале вегетации из-за недостатка тепла. Следствием этого становится недостаток в почве подвижного азота. Во-вторых, усиление азотного питания

влечёт за собой мобилизацию почвенных запасов азота, фосфора, калия и других элементов. Причём, её уровень столь высок, что относительно азота эту величину принято называть «экстра-азотом» (Сапожников, 1973; Кореньков, 1999). К числу таких причин, по нашему мнению, стоит добавить и улучшение физических, химических и биологических свойств окультуриваемой почвы в целом, что создаёт благоприятный фон для гармоничного роста и развития сельскохозяйственных растений. При этом расчётный коэффициент использования азота из удобрений может существенно превышать установленные средние значения в 45-55 % (Сапожников, 1973) и достигать 100 и более % (Иванов, Иванов, 1991; Ефимов, Иванов, 2000). Относительные прибавки урожая полевых и овощных культур достигают 15-35 и 30-50 % соответственно (Иванов, 1991, 1999, 2000; Волкова, Кириллов, 2009; Балабко и др., 2010; Жирных, Тураева, 2014; Шафран, Козеичева, Швыркина, 2015; Воробьёв, 2016; Иванов, Иванова, Воробьёв, Цыганова, 2016; Matyuk, 2013). В абсолютном выражении эта прибавка от N45-120 у зерновых культур достигла 0,7-2,5 т/га, у картофеля 4-12 т/га, у кормовых и столовых корнеплодов – до 20 т/га. Окупаемость 1 кг азота в этом случае находилась в пределах 3-7 кг зерновых единиц. В отдельных же приёмах (например, при некорневой подкормке) отдача от азота может возрастать до 3 раз (Вертебный и др., 2012).

И всё же из этого правила существует определённое исключение. Целый ряд культур, прежде всего бобовые, нуждаются в азоте меньше других, что сказывается на их отзывчивости (Прудников, Шкель, 1989; Такунов, 1995; Трепачёв, 1999; Иванова, 2003). Некоторому снижению отдачи от этого вида удобрений способствуют микробиологические препараты и биологические удобрения на их основе (Сапожников, 1971; Мишустин, 1972; Трепачёв, 1999; Чеботарь, Завалин, Кипрушкина, 2007; Алферов, Чернова, Завалин, Чеботарь, 2017). По данным Т. Н. Авдеевой и Л. И. Кораблёвой (1996), усиление зафосфаченности окультуренной почвы может также негативно влиять на поглощение растениями азота.

Объективно оценивая высокую экономическую эффективность азотных удобрений на окультуренных дерново-подзолистых почвах, нельзя сбрасывать со счета и определённые агроэкологические издержки, связанные с возможным ухудшением качества продукции, непродуктивными потерями в окружающую среду и скрытой деградацией почвенного плодородия (Костюкевич и др., 1991; Минеев и др. 2008; Иванов и др., 2010, 2016).

Относительно более однозначной оценки удостоилась роль фосфорных и калийных удобрений для хорошо окультуренных почв. Большая часть отечественных ученых (Касицкий, 1979; Кирпичников, 1981; Державин, 1983; Сдобникова, 1985; Дурбажева, 1985; Небольсин и др., 1997; Сычѳв, Шафран, 2013; Шафран, 2016) придерживаются мнения, что экономически оправданное их применение под полевые культуры достигается при содержании в почве подвижных соединений фосфора и калия не более 100-200 мг/кг. Большая обеспеченность почвы этими соединениями подразумевает только компенсацию выноса питательных элементов урожаями. При этом неполное возмещение выноса допускается относительно калия (Хлыстовский, Касицкий, 1987; Якименко, 1994, 1995, 2003, 2005, 2015; Дерюгин и др., 1995; Swoboda, 1981; Schachthabel, 1985; Hege, 1986; Podlesak, 1990; Kerschberger, 1990;). Это объясняется возможностью потребления необменных соединений и питательных веществ нижележащих горизонтов (Петербургский, 1960; Бабарина, 1983; Fleige, 1983; Mittab, 1990; Тюлин, 1993; Иванов, 1998; Иванов, Воробѳев, Лямцева, 2009).

Проф. И. А. Иванов с соавт. (1996) отсутствие эффекта от средних доз фосфорных удобрений и существенную отзывчивость на высокие их дозы объясняет очень высоким уровнем продуктивности кормовых культур (кормовые корнеплоды, кукуруза и др.) на окультуренных почвах. Объясняя этот факт, датский учёный Ларсен выдвинул теорию о необходимости преодоления окклюдирующей способности почвы относительно фосфатов с целью обеспечения высокой эффективности фосфорных удобрений (по А. Ю. Кудеяровой, 1995). Некоторыми учеными (Лебедева, 1986; Корнева, 1988;

Авдеева, 1996; Тихомирова, 1996; Трофимов, Коваленко, 2017; Manfred, Ulrich, 1985) отмечалось нарушение обмена веществ и даже снижение урожайности при необоснованном завышении концентрации фосфора и калия в почве.

Относительно эффективности калийных удобрений мнение учёных расходится более значимо. Если руководствоваться соображениями экономики, то в большинстве экспериментов калийные удобрения оказываются малоэффективными на зерновых культурах уже при содержании подвижных соединений более 100 мг, а на интенсивных пропашных – более 200 мг/кг почвы (Дерюгин, Кирпичников, 1995; Сычёв и др., 2011; Шафран, Прошкина, Духанина, 2012; Борисов, 2016; Шафран, 2016). Несмотря на это, некоторые учёные считают оправданным внесение калийных удобрений и в отсутствие прямого их действия на урожай, имея в виду особое значение калия для преодоления растениями засух и других неблагоприятных явлений (Черкасова, 1985; Прокошев, 1998; Иванов, 1998). Исследованиями в многолетних опытах рядом авторов было показано, что отзывчивость на калийные удобрения у полевых культур начинает проявляться лишь по мере срабатывания запаса труднообменных соединений калия (Иванов, Воробьёв, Лямцева, 2009; Воробьёв, 2016; Vorobyov, 2018). При этом достоверные прибавки урожайности овощных культур фиксируются даже на почвах с очень высокой обеспеченностью элементом при внесении калия в дозах 200 и более кг/га (Иванов, 1998). Ряд исследователей считает, что для объективной оценки эффективности калийных удобрений на окультуренных дерново-подзолистых почвах необходимо дополнительно учитывать их положительную роль в формировании качественных показателей продукции и устойчивости к неблагоприятным погодно-климатическим явлениям (Прокошев, 1993; Прокошев, Дерюгин, 2000; Борисов, 2016; Воробьёв, 2016).

Применение различных видов органических и органо-минеральных удобрений на окультуренных почвах, как правило, менее эффективно, чем на

средне- и, тем более, слабоокультуренных почвах (Ефимов, Донских, Царенко, 2002; Иванов, Иванова, Иванов, 2002; Kosolapova, 2016). При применении навоза в эквивалентных по азоту дозах отдача от него за ротацию севооборота близка к минеральной системе удобрения. Однако, по экономической эффективности органические системы на окультуренных дерново-подзолистых почвах существенно уступают минеральным (Иванов, 2000; Сычев и др., 2017; Лукин и др., 2018). Тем не менее, с учётом положительной роли органических удобрений в сохранении физических и физико-химических свойств почвы, оптимизации их микроэлементного состояния общие оценки будут уже не столь однозначными (Барановский, 1995; Суханов и др., 2010). Вероятно, с учётом комплекса положительных агроэкологических эффектов, отказ от применения органических удобрений на окультуренных почвах неприемлем. Исследования, выполненные в институте органических удобрений, в СЗНИИСХ, НИИ с.-х. использования мелиорируемых земель, Тверской и Великолукской ГСХА (Небольсин и др., 1997; Иванов, Спасов, Иванов; 1998; Ковалёв, Барановский, Шутов, 2008, 2009; Барановский, Павлоцкий, 2010; Сычев и др., 2017; Лукин, 2018) показали, что уровень оптимальных среднегодовых доз органических удобрений на таких почвах находится в пределах 10-30 т/га.

Одним из наиболее перспективных методов повышения отдачи от удобрений на окультуренных почвах являются точные системы удобрения и прецизионные технологии их применения (Якушев и др., 2007; Рекомендации по применению, 2009; Якушев, 2016). Пространственная неоднородность почвенного плодородия, имеющая всеобъемлющий характер (Herbst, Lamp, 1998; Dunker, Nordmeyer, 2000; Фрид, 2002; Иванов и др., 2014), признана одним из важных факторов снижения отдачи от удобрений на окультуренных почвах. Объективный учет фактической пространственной неоднородности питательного режима дерново-подзолистой почвы позволил повысить продуктивность овощного и полевого севооборотов на 10-14 % и довести окупаемость 1 кг действующего вещества основного удобрения до 10-12, а на

отдельных культурах – до 21 з.ед. (Иванов, Конашенков, 2014; Лапа и др., 2017; Иванова и др., 2020). Однако с экономических позиций (из-за дороговизны прецизионного технологического оборудования), добиться значимого превосходства в денежных доходах при этом бывает весьма сложно (Конашенков, 2014).

Таким образом, хорошо окультуренные дерново-подзолистые почвы, обладая комплексом оптимизированных свойств, являются весьма специфичным и в неполной мере изученным объектом применения удобрений. Отзывчивость на отдельные виды последних зависит от комплекса сопутствующих агроэкологических условий, биологических особенностей культур и сортов, интенсивности их продукционного процесса, погодно-климатических условий, фитосанитарной обстановки и др. Высокая экономическая эффективность на этих почвах азотных удобрений, тем не менее, не отменяет необходимости поиска путей повышения отдачи и от других видов, обеспечивающих воспроизводство плодородия этих почв. Для нас же в начале исследования не было ясности относительно эффективности удобрений на почвах, сформированных методом ускоренного окультуривания.

### 1.2.2 Влияние мелиорантов и удобрений на свойства окультуренных почв

При изучении вопроса о влиянии удобрений на свойства окультуренных дерново-подзолистых почв прежде всего следует иметь в виду специфичность их природно-антропогенного происхождения. Эта специфичность обуславливает увеличение их буферности и, вслед за этим, сопротивляемости к изменению достигнутых показателей плодородия в неблагоприятную с хозяйственной точки зрения сторону (Авдонин, 1966). Примерно такой же позиции придерживались учёные, детально описавшие преобразование почв в ходе процесса окультуривания в 50-60-е годы (Благовидов, 1952, 1954; Левин, 1972; Пестряков, 1977; Кулаковская, 1978; Никитин, 1986). Это весьма общее представление действительно верно для условий, когда оптимизиро-

ванный статус окультуренных почв поддерживался регулярным применением мелиорантов, органических и минеральных удобрений.

В конце 80-х годов в большинстве областей Нечернозёмной зоны сформировался фонд зафосфаченных и закалиенных почв, а потенциальная продуктивность пашни даже превысила аналогичный показатель для чернозёмных регионов (Иванов, 1991; 1998; 1999; Иванов, Иванова, Иванов, 1994, 1997; Шафран, 2004, 2016). А это позволило обосновать возможность (и целесообразность) мобилизации потенциала плодородия таких почв с тем, чтобы перераспределить часть удобрительных материалов на более нуждающиеся в них объекты (Иванов, 1989; Иванов, 1991; Минеев, 1993, 1998, 1999). При этом в качестве средств такой мобилизации чаще рассматривались азотные удобрения, некоторые микроудобрения и биологические удобрения (препараты), а иногда поддерживающее известкование (Иванов, 1993; Чеботарь, Завалин, Кипрушкина, 2007; Завалин и др., 2010; Воробейков, Бредихин, 2018;). Однако, в ходе этих исследований стала выясняться гораздо более сложная картина. Буферность окультуренных почв определялась их генетическими особенностями (гранулометрический состав, карбонатность почвообразующей породы, обогащённость фосфатами и др.), характером погодноклиматических условий, уровнем оптимизации отдельных свойств и их природной склонностью к ухудшению (Иванов, 2000; Цыганова, 2007; Гомонова, Минеев, 2012; Иванов, Воробьёв и др., 2015; Воробьёв, 2016).

Последние 25 лет в большинстве случаев в производственных условиях на таких почвах либо использовались дешёвые минеральные системы удобрения, либо удобрения не применялись вообще. И лишь небольшая их часть, находящаяся вблизи крупных животноводческих ферм, использовалась на фоне интенсивного применения органических удобрений (Сычёв и др., 2017; Производство, изучение и применение..., 2018). Практически все эти системы обладают определёнными издержками.

Кислотно-основные свойства окультуренных почв чаще отвечают их нейтральному статусу. Практически всегда они бывают насыщенными осно-



ваниями, имеют рН солевой вытяжки не ниже 5,5 единиц при незначительном содержании подвижного алюминия (Благовидов, 1954; Сапожников, Корнилов, 1971; Пестряков, 1977). Основным природным фактором подкисления почв региона выступает промывной водный режим (Гагарина и др., 1995; Небольсин, Небольсина, 2005; Юлушев, 2005; Рекомендации по применению..., 2009; Небольсин, Небольсина, 2010;). Инфильтрационные потери оснований (кальция, магния, калия, натрия (преимущественно кальция)) оцениваются от десятков кг/га в лесу до 300-500 кг/га в известкованных пахотных почвах (Коротков, 1970; Кулаковская, 1987; Небольсин, Небольсина, 2010; Шильников, 2004, 2008). Проф. А. А. Коротков (1970) уверенно полагал, что большая часть почвообразующих пород региона после таяния ледника обладала нейтральной реакцией, а кислыми почвы стали вследствие постепенной утраты кальция. Неуравновешенные кальцием кислые продукты жизнедеятельности микроорганизмов и растений (угольная кислота и низкомолекулярные органические кислоты), а также гораздо более агрессивные высокомолекулярные органические кислоты (фульвокислоты и гуминовые) выступают, наряду с промывным водным режимом, основным агентом разрушения минералов и подзолообразования (Заев и др., 1972). Определённое значение имеют и продуктивные потери оснований, хотя потребление кальция сельскохозяйственными культурами, как правило, не превышает 20-50 кг/га и лишь в условиях орошения на овощных культурах может превышать 100 кг/га (Иванов, 2000; Ivanov, 2000; Небольсин, Небольсина, 2005). По указанным причинам подкисление почв происходит постоянно при весьма слабой зависимости от характера их использования (Небольсин, Небольсина, 2005; Литвинович и др., 2005, 2009; Фесенко и др., 2012). Этим негативным процессом охвачены не только дерново-подзолистые, но и серые лесные и чернозёмные почвы, необходимость известкования которых возникает всё чаще (Надёжкин и др., 2005).

В условиях отказа от известкования среднегодовые темпы снижения  $pH_{КСI}$  оцениваются в 0,01-0,03 единицы (Ivanov, 2000; Ефимов, Иванов, 2001,

Цыганова, 2007; Фесенко и др., 2012; Воробьёв и др., 2016). Основными факторами ускорения подкисления в окультуренных почвах являются оросительные мелиорации и избыточное применение физиологически кислых минеральных удобрений. При этом в критических условиях орошаемых земель овощных севооборотов темпы подкисления могут ускориться до десяти раз (Ефимов, Иванов, 2001; Надёжкин и др., 2005). Вопрос о влиянии минеральных удобрений на подкисление почвы остаётся спорным. Большинство авторов (Панников, Минеев, 1977; Державин, Яковлева и др., 1988; Надёжкин, 2005; Небольсин, Небольсина, 2005; Юлушев, 2005; Завьялова и др., 2014, 2015) принимает роль физиологически кислых минеральных удобрений как однозначно негативную. При этом основной эффект подкисления относят на азотные удобрения. Но в длительных опытах Великолукской ГСХА на дерново-подзолистых остаточно-карбонатных почвах динамика подкисления в удобренных вариантах была такой же, как и в контроле без удобрений (Ефимов, Иванов, 2001; Иванов и др., 2010; Цыганова, 2007, Воробьёв и др., 2016). В среднегодовом исчислении уменьшение показателей кислотности почвы в пределах пахотного слоя и подпахотного горизонта составляло: по  $pH_{H_2O}$  0,046-0,047 и 0,021-0,027, по  $pH_{KCl}$  0,032 – 0,034 и 0,017-0,019, по сумме обменных оснований - 0,074-0,078 и 0,066-0,085 ммоль-экв/100 г, по гидролитической кислотности – 0,011-0,014 и 0,05-0,09 ммоль-экв/100 г соответственно (Цыганова, 2007). Практически идентичные данные были получены в условиях Брянской области (Бельченко, 2012). Основной причиной отсутствия дополнительного негативного эффекта от минеральных удобрений считается быстрое потребление азота полевыми культурами и отсутствие его избытка (Небольсин, Небольсина, 2010; Ivanov, 2000).

Органические удобрения (навоз и компосты на его основе), в окультуренных почвах, как правило, не способны существенно улучшить кислотностно-основные свойства окультуренных почв, но зато предотвращают их деградацию (Иванов, 2000; Надёжкин, 2005; Цыганова, 2007). Существенной нейтрализации и накопления обменных оснований удаётся добиться лишь при

гиперинтенсивном применении таких удобрений (Сычѳв и др., 2017), в том числе и птичьего помѳта или удобрений на его основе (Фрейдкин и др., 2014; Производство, изучение и применение..., 2018), а также реагентных ОСВ (Евилевич, 1988; Касатиков, 1989; Иванов, 1998; Яськов, 2006), сапропелей известковистой природы (Максимов, Кузнецов, Платонов, 2000; Надточий и др., 2008). Однозначное длительное воспроизводство свойств окультуренных дерново-подзолистых почв связано с реализацией приѳма периодического или поддерживающего известкования (Небольсин, 1997; Небольсин, Небольсина, 2010; Шильников, Лебедева, 1987; Шильников и др., 2008; Завьялова, 2013; Сычѳв, 2019). При этом положительная роль поддерживающего известкования может быть связана не только с оптимизацией кислотно-основных свойств дерново-подзолистых почв, но и с улучшением их микробиологической активности, азотного режима и комплекса агрофизических свойств (Иванов, 1993; Булатова, 2017).

Тесно связаны с физико-химическими кондициями агробиологические и агрофизические свойства почв. По оценкам ряда авторов, первые наиболее чувствительны к любым негативным воздействиям (Мишустин, 1972; Тихонович, Круглов, 2006; Кирюшин, 2010; Тихонович, Проворов, 2011; Тарасов и др., 2018). Заметное подкисление почв или ухудшение водно-воздушного режима влечѳт за собой изменение состава почвенного микробиома. Сокращается доля прихотливых спорообразующих бактерий и увеличивается – микроскопических грибов и актиномицетов (Аристовская, 1965; Мишустин, 1972). Следствием этого, как правило, становится усиление биологического выветривания минералов, что в сочетании с промывным водным режимом означает и увеличение инфильтрационных потерь биогенных элементов (Коротков, 1970; Небольсин, 1995).

В условиях отказа от известкования и применения органических удобрений негативные процессы затрагивают гумусированность почвы и качественный состав гумуса. По результатам длительных опытов установлено, что среднегодовые темпы снижения содержания органического вещества у

окультуренных дерново-подзолистых почв могут варьировать от 0,02-0,03 на средних по гранулометрическому составу разновидностях до 0,04-0,05 % на лёгких почвах (Иванов, Иванов, 2000; Ковалёв, Барановский, 2000; Назарова, 2004; Цыганова, 2007; Барановский, Павлоцкий, 2010; Воробьёв и др., 2015). При этом темпы ухудшения качественного состава гумуса, оцениваемые соотношением гуминовых и фульвокислот, достигают в среднем 0,01 единицы в год (Иванов, 2000; Литвинович и др., 2005, 2009).

Следует отметить, что и существующие представления об оптимальной обеспеченности дерново-подзолистых почв гумусом неоднозначны. Ряд авторов полагает необходимым содержание в 3-4 % (Благовидов, 1954; Пестряков, 1973; Орлов, 1981), а для тяжёлых суглинков даже в 5-6 %. Именно такие параметры обеспеченности органическим веществом, по их мнению, позволяют поддерживать высокий уровень биологической активности почвы, необходимый для надлежащего обеспечения растений азотом, фосфором, серой и другими элементами. Но, многие исследователи указывают на невозможность поддержания таких показателей в производственных условиях и оправданность снижения минимальной планки оптимума до 2,5-3 % (Кауричев и др., 1979; Егоров, 1981; Иванов, 1989; Барановский, 1995; Иванов, Иванов, 2000). Хотя незаменимая роль гумуса в оптимизации агрофизических свойств лёгких дерново-подзолистых почв и реабилитации их после химического загрязнения бесспорна (Александрова, 1980; Белоус, 1996, 1997, 2006; Суханов и др., 2019).

Сохранение благоприятных агробиологических свойств окультуренных почв, а значит и оптимального уровня их гумусированности, практически всеми исследователями связывается с интенсивным применением органических удобрений, увеличением прихода пожнивно-корневых остатков, заделкой в почву сидератов и соломы, поддерживающим известкованием (Лыков, 1982; Небольсин и др., 1997; Ефимов, Донских, Царенко, 2002; Цыганова, 2007; Барановский, Павлоцкий, 2010; Иванова, Иванов, 2014). До сих пор спорной остаётся лишь ситуация с оценкой роли минеральных и, прежде все-

го азотных удобрений. Ряд авторов оценивает её исключительно как негативную (Кореньков, 1999; Бирюкова, Орлов, 2004; Орлов, Бирюкова, Суханова, 2005; Чеботарёв и др., 2014, 2015). Объясняется это усилением минерализации органического вещества вследствие повышения биологической активности. Но не менее широко распространено и мнение об отсутствии негативного влияния или, напротив, о наличии положительных эффектов как в форме увеличения содержания гумусовых веществ за счёт роста прихода исходных гумусообразователей, так и улучшения качественного состава, в частности, обазоченности гумуса (Сапожников, 1977; Лаврова, 1992; Каштанов, Явтушенко, 1997; Шевцова, 1998; Барсукова, 1998; Иванов, Иванов, 2000; Цыганова, 2007). В опытах Чеботарёва (2009) максимальный прирост содержания гумуса обеспечивался при совместном применении органических и минеральных удобрений. Его среднегодовые параметры достигали 0,67-0,87 т/га, тогда как в варианте с одним органическим удобрением (торфо-навозный компост) эта величина составляла 0,1-0,62 т/га. Заметного повышения содержания гумуса на дерново-подзолистой почве (до 2,53 %) удалось также достичь при совместном возделывании сидеральных культур с зерновыми и многолетними травами, а также при внесении навоза в среднегодовой дозе 6 т/га (Фомин и др., 2018).

Агрофизические свойства почвы в целом принято считать наиболее стабильными показателями. Однако, это верно лишь относительно ряда наиболее консервативных физических кондиций (Ревут, 1964; Шеин и др., 2009; Моисеев, 2011), таких как масса твёрдой фазы, гранулометрический состав, полная влагоёмкость. Свойства же, связанные со структурным состоянием, податливые окультивирующему воздействию, более динамичны (Фредкин и др., 2014; Иванова, Иванов, 2019). Анализ литературных данных показывает, что основные деградационные процессы у этих почв связаны с обезиливанием и утратой агрономически ценной почвенной структуры. Оба процесса являются следствием диспергации почвенных частиц из-за утраты органическими и минеральными коллоидами адгезионной способности при подкисле-

нии (Гагарина и др., 1995; Шеин и др., 2009). Определённую негативную роль в этом играют и интенсивные механические обработки почв (Ревут, 1970; Левин, 1972). Надёжнее всего разуплотнение, оптимизация её структурного состояния и комплекс водно-воздушных свойств обеспечивается применением известкования в сочетании с органическими удобрениями. По мнению проф. А. Н. Небольсина с соавт. (1997), для этого необходимо внесение 20-30 т/га органических удобрений в год. Ряд авторов предполагает, что сохранить благоприятные агрофизические свойства дерново-подзолистых почв можно при вдвое меньших дозах органических удобрений (Иванов, 1989; Барановский, 1995; Иванов, Спасов, Иванов, 1998). Касается это севооборотов со значительной долей посевов многолетних злаково-бобовых трав. Некоторыми авторами для решения задачи разуплотнения предлагается возделывание культур, корневые системы которых способны проникать сквозь плужную подошву (амарант, донник белый и другие) (Балашов, Моисеев, 2009; Фрид и др., 2010; Моисеев, 2011). При этом оптимальным признаётся следующий диапазон свойств: равновесная плотность - 1,1-1,3 г/см<sup>3</sup>, общая пористость – 48-60 %, пористость аэрации при наименьшей влагоёмкости – 15-20 %, содержание агрегатов от 0,25 до 10 мм – 70-85 %, доля водопрочных агрегатов – не менее 40 %, наименьшая влагоёмкость – от 20-24 % у связных песков и супесей до 28-35 % у суглинков, водопроницаемость суглинистых разновидностей – не менее 0,7-1 мм/мин. (Балашов, Моисеев, 2009; Фрид и др., 2010). Хотя из этого правила существует немало исключений (например, песчаные и глинистые разновидности дерново-подзолистых почв), тем не менее, формирование данных модельных показателей почвы – это один из главных залогов благоприятных условий питательного режима и развития корневых систем растений.

В последние годы, с целью экономии средств на применение навоза, в АФИ и ВНИИМЗ (г. Тверь) разработаны новые виды органических и органо-минеральных удобрений, которые позволяют улучшить комплекс агрофизических свойств дерново-подзолистой почвы (Ковалёв, Барановский 2009;

Фрейдкин и др., 2014; Изучение, производство и применение..., 2018; Иванов, Иванова, 2019). Применение органо-минеральных удобрений на основе птичьего помёта в мелиоративных дозировках приводило к накоплению илистой фракции и позволило увеличить коэффициент структурности с 0,69 до 1,18-1,69, коэффициент водопрочности – с 0,55 до 0,76-0,85, полевую влагоёмкость – с 20 до 21,6 - 22,7%.

Влияние систем удобрения окультуренных почв на агрохимические свойства в большинстве случаев находится в тесной зависимости от баланса питательных веществ. По данным В. Н. Ефимова и А. И. Иванова (2001), хорошо окультуренные дерново-подзолистые почвы Псковской области в среднем содержали 2,4 % гумуса, 72 мг/кг легкогидролизуемого азота, 380 мг/кг подвижного фосфора, 310 мг/кг подвижного калия и обладали нитрификационной способностью 41 мг/кг. На фоне отказа от применения удобрений или использования моноазотных систем агрохимические свойства таких почв быстро деградируют (Иванов и др., 2010; Сычёв, 2008, 2013; Шафран, 2004, 2016; Воробьёв и др. 2015). Параметры негативных изменений зависят от буферности отдельных свойств, степени интенсивности севооборотов и уровня потребления питательных веществ, агроклиматических условий и ряда других факторов. Наибольшей буферностью у окультуренных дерново-подзолистых почв отличается их обеспеченность подвижным фосфором, наименьшая – подвижным калием (Иванов, Ильющенко, 1998; Иванов и др., 2008; Хмелинин, 1984; Шафран, 2016; Трофимов, Коваленко, 2017; Архипов и др., 2018). Даже выведение окультуренных почв в залежное использование не останавливает деградационные процессы. По данным А. В. Литвиновича с соавт. (2005, 2009), за 20 лет обеспеченность таких почв подвижными фосфатами и калием сокращается в 3 и более раз. В ряде работ показано, что повышенная буферность таких почв в отношении подвижных фосфатов объясняется участием в питании растений фосфора, образующегося при минерализации фосфорорганических соединений гумуса (последние не извлекаются из почвы 0,2 М раствором HCl при использовании метода Кирсанова) (Хмели-

нин, 1984; Иванов, Ильющенко, 1998; Христенко, 2003, 2004). Среднегодовые темпы снижения обеспеченности хорошо окультуренной почвы подвижными фосфатами находятся в пределах 2-6 мг/кг (Литвинович, 2003; Фесенко и др., 2012; Воробьёв и др., 2015). Компенсация таких потерь обеспечивается применением средних доз органических удобрений или фосфатами в составе комплексных (Драганская, Белоус, 2009).

Несмотря на то, что общие запасы калия в дерново-подзолистых почвах в десятки раз больше, чем фосфора, поддерживать его оптимальное состояние сложнее. Это объясняется сочетанием ряда причин, прежде всего высоким выносом калия с хозяйственно используемым урожаем (100-300 кг/га в год); наличием инфильтрационных потерь элемента в лёгких почвах, достигающих 20-30 кг/га, а также спецификой деятельности калийной буферной системы (Прокошев, Дерюгин, 2000, Воробьёв, 2016). Данные агрохимического мониторинга пахотных Псковской области уже к середине 90-х годов показывали, что целые административные районы с лёгкими дерново-подзолистыми почвами характеризовались содержанием подвижного калия на уровне начала 60-х годов (Иванова, Иванов, Иванов, 1997). Как показали исследования последних лет, одним из важных факторов дестабилизации калийного состояния окультуренных почв является процесс их обезиливания, вследствие которого в нижнюю часть профиля мигрируют калийсодержащие гидрослюдистые минералы (Непримерова, 2012, 2013; Воробьёв, 2016).

По оценкам ряда авторов, калийная буферная система у окультуренных почв весьма ёмкая, так как базируется на динамичных процессах обмена ионами калия между позициями различной энергоёмкости (Якименко, 2013, 2015). Снижение концентрации элемента на легкообменных позициях постепенно компенсируется его переходом с труднообменных высокоэнергетических позиций (Якименко, 2003, 2005, 2015, 2015). Тем не менее, предельная ёмкость их даже у хорошо окультуренных почв ограничена (Якименко, 1995; Иванов, 1997). Так, запасы резервного (необменного) калия находятся в пределах 600-1000 мг/кг (Якименко, 2005). Особенно сложно оптимизировать



содержание доступного растениям калия у песчаных и супесчаных почв (Белоус, 1997; Цыганова, 2007).

Вероятно, по причине недостаточной изученности калийной буферной системы дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава, единых подходов к оптимизации их калийного состояния пока не выработано. Одни авторы полагают допустимым кратковременный или более длительный отказ от калийных удобрений (Бровкин, Караева, 1993; Иванов, Иванов, 1991; Якименко, 1995). Другие настаивают на обоснованности применения калийных удобрений даже в условиях отсутствия их прямого агрономического эффекта. Связывают это обычно с незаменимым влиянием калия на качество продукции, в том числе в условиях радиоактивного загрязнения (В. А. Борисов, 2016; Сычёв, 2017). По данным В. А. Воробьёва (2016), положительное действие калийных удобрений на урожай пропашных культур начало проявляться лишь через 10-12 лет после отказа от их применения. Среднегодовые темпы сокращения содержания подвижного калия при этом оцениваются в 10-20 мг/кг (Минеев, 2002; Иванов и др., 2009, 2010; Фесенко и др., 2012; Воробьёв и др., 2015;). На фоне орошения в интенсивных овощных севооборотах они могут достигать 40 – 80 мг/кг в год (Ivanov, Ivanova, 2021). Конечно, полное предотвращение деградации калийного состояния дерново-подзолистых окультуренных почв невозможно без компенсации хозяйственных и непродуктивных потерь элемента (Дерюгин, Прокошев, 1995; Белоус, 1997; Минеев, 2002). Сегодня, как показывают результаты длительных полевых опытов, применение органических удобрений и средних доз калийных лишь замедляют негативные процессы, не предотвращая их.

Таким образом, сохранение оптимального статуса агропроизводственных свойств окультуренных дерново-подзолистых почв связано с выполнением ряда затратных агротехнических мероприятий. Поиск возможностей, обеспечивающих повышение их окупаемости, является одной из важных фундаментально-прикладных задач современной земледельческой науки.

## 2 ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальной базой исследования служил стационарный полевой эксперимент в системе овощекормового и полевого севооборотов «Агрофизический стационар», заложенный в Меньковском филиале АФИ (Гатчинский район Ленинградской области) в 2006 году. Последний расположен в центральной части основного земледельческого региона Северо-Запада России, включающего Псковскую, Новгородскую и Ленинградскую области.

Геоморфологически территория Меньковского филиала АФИ расположена на границе Ордовикского плато, сформированного донными доломитизированными отложениями, и абразионной озёрно-ледниковой равнины. Доминирующими почвообразующими породами на ней являются, преимущественно, маломощные абразированные моренные и озёрно-ледниковые отложения (Моисеев, Зинчук, 2014). Выраженная пестрота почвообразующих пород в сочетании с мезо- и микрорельефными проявлениями способствуют формированию весьма контрастного и сложного почвенного покрова, в котором при доминировании почв дерново-подзолистого типа автоморфного и полугидроморфного рядов, присутствуют почвы дерново-карбонатного, дерново-глеевого и торфяно-болотного низинного типов (Петрушенко, 2006). Эти же факторы, наряду с неравномерным внесением органических удобрений и мелиорантов, предопределили высокую степень мелкомасштабной внутриполевой пространственной неоднородности эффективного плодородия почв (Иванов, Конашенков, 2012; Иванов и др., 2014; Иванова, Иванов, Дубовицкая, 2019).

Такое разнообразие почвенных условий позволяет Меньковскому филиалу АФИ быть весьма востребованным региональным центром (тестовым полигоном) комплексных агроэкологических исследований в области современных систем, в том числе точного земледелия (Иванова и др., 2017). При этом в последние годы наиболее значимо здесь были продвинуты направления информационного и программно-аппаратного обеспечения технологий

точного земледелия (Якушев, 2016), а так же точных систем удобрения (Якушев и др., 2008; Иванов, Конашенков, 2014; Цыганова и др., 2019; Иванова и др., 2020) и защиты растений (Шпанёв и др., 2017, 2018).

Несмотря на то, что история сельскохозяйственного освоения этой территории насчитывает, по разным оценкам, от 150 до 300 лет, сплошное окультуривание почвенного фонда было проведено в 60-80-е годы 20 века (Петрушенко, 2006; Витковская и др., 2014). Более половины земельного фонда было осушено (болотные почвы открытым, минеральные – закрытым дренажём).

## 2.1 Условия формирования и современное состояние пахотных почв Северо-Запада России

При почвенно-географическом районировании (Гагарина и др., 1997) большая часть территории Северо-Западного региона России отнесена к бо-реальному почвенно-биоклиматическому поясу. В свою очередь, он включает: почти не освоенную подзону глееподзолистых почв и подзолов северной тайги в составе Кольско-Карельской и Онежско-Печорской провинций; мало освоенную подзону подзолистых почв средней тайги в составе Карельской и Онего-Вычегорской провинций и наиболее освоенную зону дерново-подзолистых почв южной тайги в составе Прибалтийской и Среднерусской почвенных провинций; зону бурых и дерново-подзолистых почв хвойно-широколиственных и широколиственных лесов в составе Калининградской почвенной провинции. Доминирующими на пашне здесь являются почвы дерново-подзолистого типа автоморфного и полугидроморфного увлажнения. Естественные кормовые угодья (сенокосы и пастбища) размещаются, преимущественно, на полугидроморфных глееватых и глеевых почвенных разностях.

Особенности распределения почвенно-климатических ресурсов в регионе предопределили преимущественное развитие земледелия на террито-

рии современных Калининградской, Вологодской, Псковской, Новгородской и Ленинградской областей. При почвенном районировании трёх последних принято выделять 15 округов (Гагарина и др., 1997). В большинстве из них средняя величина элементарного почвенного ареала составляет 4-30 га, а минимальная не достигает и 1 га. Сельскохозяйственная освоенность, зависящая от почвенно-климатических условий округа и распределения сельского населения, варьировала к середине 80-х годов в пределах от 7 до 37 %. Максимальной освоенностью характеризуются территории вблизи крупных городов (Санкт-Петербург, Новгород, Псков), минимальной – на сильно заболоченных низменностях.

Погодно-климатические условия земледельческой части Северо-Запада России во многом определяют не только характер земледелия, но и направленность процессов почвообразования. Находясь под влиянием Северного Ледовитого и Атлантического океанов, умеренно-континентальный (с признаками морского в западной части) климат весьма благоприятен для возделывания малотребовательных к теплу сельскохозяйственных культур и развития кормопроизводства. Его основные особенности здесь сводятся, во-первых, к определённой ограниченности тепловых ресурсов вегетационного периода. Во-вторых, к избыточному поступлению осадков (500-700 мм при испарении до 400 мм). В-третьих, к исключительно неравномерному характеру распределения ресурсов тепла и влаги в течение вегетационного периода (Конашенков и др., 2016; Иванов, Конашенков, 2018).

Сумма активных (выше 10 °С) температур в зонах реального полевого земледелия изменяется от 1200 до 2300 °С, а продолжительность периода с такими температурами от 90 до 155 дней (табл. 2). Близки к этим и показатели продолжительности безморозного периода. Тепловые характеристики климата соответствуют экологическим требованиям ржи, пшеницы, тритикале, ячменя, овса, гороха, вики, льна-долгунца, многолетних трав, ранне- и среднеспелых сортов картофеля, традиционных овощных и ряда

Таблица 2 – Агроклиматические ресурсы территории Северо-Запада РФ

Область, Республика	Сумма $t > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	Осадки, мм	ГТК	Безмороз- ный период	Период с $t > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , дн.
Архангельская	300 – 1200	425 – 575	1,2 – 1,6	70 – 110	71 – 107
Вологодская	1000 – 1700	480 – 580	1,5 – 1,6	68 – 120	106 – 115
Калининградская	2000 – 2300	680 – 720	1,3 – 1,9	135 – 185	145 – 155
Ленинградская	1400 – 1900	470 – 710	1,4 – 1,8	90 – 125	111 – 123
Мурманская	300 – 1110	350 – 1000	-	67 – 107	22 – 77
Новгородская	1500 – 2000	500 – 700	1,3 – 2,3	105 – 140	110 – 135
Псковская	1800 – 2000	600 – 660	1,4 – 1,8	130 – 160	123 – 140
Карелия	850 – 1600	400 – 700	1,3 – 1,8	70 – 130	75 – 115
Коми	800 – 1550	350 – 625	-	64 – 99	45 – 110

других культур. Одну из серьёзных проблем регионального земледелия составляют «волны холода», накрывающие обширные территории в начале вегетационного периода.

Обилие осадков (500-700 мм и до 850 мм на возвышенностях) и их неравномерное распределение, сочетающееся с близким к поверхности стоянием грунтовых вод при низкой испаряемости, формирует промывной и застойный водный режим почв. Их последствия земледельцам приходится преодолевать практически постоянно, занимаясь регулированием водного режима при помощи мелиорации и восстановлением почвенного плодородия.

Высокая неоднородность географического распределения тепла и влаги, связанная с комплексом природных факторов, позволяет выделять при мезоклиматическом районировании в каждой из областей и республик региона от 3 до 5 агроклиматических районов. Например, в Ленинградской области сумма температур за безморозный период на равнинах варьирует от 1000 до 1800  $^{\circ}\text{C}$ , на вершинах и верхних частях склонов – от 1100 до 1900  $^{\circ}\text{C}$ , низинах и нижних частях склонов – от 750 до 1550  $^{\circ}\text{C}$ , побережьях водоёмов – от 1150 до 1950  $^{\circ}\text{C}$ , осушенных и окультуренных торфяниках – от 950 до

1750 °С. Разница в теплообеспеченности между вершинами холмов и прилегающими долинами и ложбинами за безморозный период составляет в среднем до 200 – 300 °С. Минимальные температуры в прибрежной полосе Балтийского моря и крупных озёр на 5 – 7 °С выше, чем на окружающих территориях. Здесь дневные температуры воздуха летом ниже, а ночные выше, заметно лучше показатели солнечного сияния и прихода фотосинтетически активной радиации (0,38-0,71 мкм) (рис. 1). Разница в приходе ФАР на поверхность земли за период вегетации в отдельных частях Ленинградской области может достигать 50 %. Суммарный приход ФАР в районе Меньковского филиала АФИ варьирует по годам в пределах 950-1000 МДж/м<sup>2</sup>.

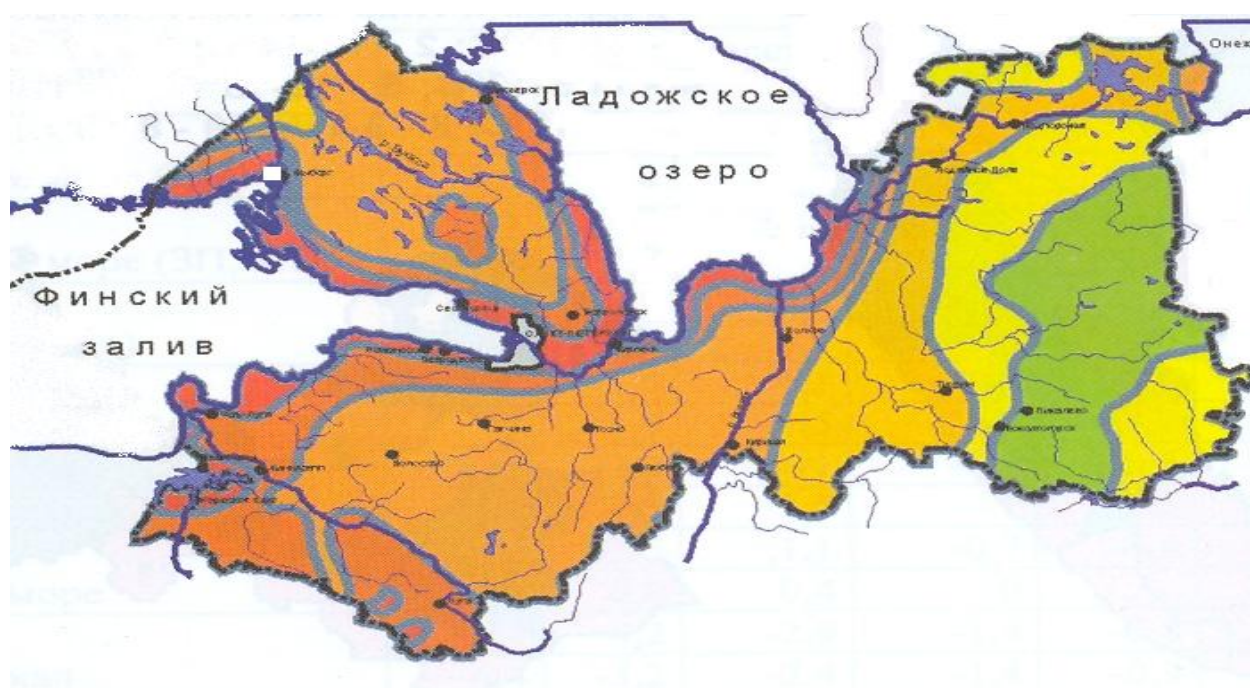
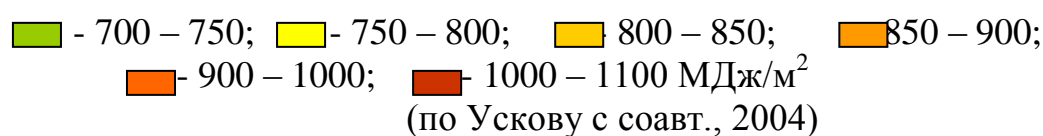


Рисунок 1 – Распределение прихода фотосинтетически активной радиации на поверхность земли в Ленинградской области



Неблагоприятной особенностью климата является неравномерное распределение тепла и влаги в течение вегетации и по годам. Согласно средне-многолетним данным, для сельскохозяйственных частей региона характерна прохладная засушливая весна, умеренно тёплое дождливое лето и прохладная

дождливая осень (Королёв, 1982).

Наблюдаемые в последние два десятилетия глобальные климатические изменения для региона, в целом, по оценкам ряда авторов (Конашенков и др., 2016, Янко, Иванов 2019; Гулюк и др., 2020), имеют положительный характер, так как при этом среднегодовые темпы увеличения среднесуточной температуры воздуха на территории Северо-Запада достигают 0,02 °С. Однако, реализация повышенных тепловых ресурсов требует от земледелия адаптации к резко увеличившимся рискам погодно-климатических аномалий (Иванов, Кирюшин, 2009; Усков, Усков, 2014): поздневесенних-раннелетних засух до 8 лет из 10, переувлажнений в начале вегетации – до 2 лет из 10, повторяемости засух во второй половине вегетации – на 87 % (отн.) и переувлажнений (на 25 %) (отн.) (Иванов, Конашенков, 2018). Особенно важное значение при этом придаётся восстановлению регионального мелиоративного комплекса (Дубенок, 2013, 2018; Иванов, Конашенков, 2018; Янко, Иванов; 2019) и оптимальных агрофизических свойств пахотных дерново-подзолистых почв (Конашенков и др., 2016)

Очень пёстрый гранулометрический состав моренных, водно- и озёрно-ледниковых отложений, являющихся почвообразующими породами, сформировал значительную неоднородность почв по этому свойству. В среднем по региону песчаные и супесчаные почвы занимают около 40 % площади пашни. Почти 30 % приходится на легкосуглинистые, 20 % - на среднесуглинистые и 10 % - на тяжелосуглинистые и глинистые разновидности (Иванов, Иванов, 2006). При этом характер их распределения по отдельным областям и природно-территориальным комплексам неоднородный. Так в Псковской области на пашне почти 92 % почв представлено легкими по гранулометрическому составу разновидностями, а в соседней Новгородской – их доля меньше более чем в два раза.

В зависимости от комплекса складывающихся агроэкологических условий и биологических потребностей отдельных культур в них оптимальный

состав обычно находится в пределах от тяжёлой супеси до среднего суглинка.

Современное агромелиоративное состояние земельного фонда неудовлетворительное (Иванов, Конашенков, 2018; Иванов, Янко, 2019). Они подвергаются развитию явных и скрытых деградационных процессов (Воробьёв и др., 2015; Шафран, 2016; Янко, Иванов 2019; Гулюк и др., 2020). При уровне хозяйственного использования пашни от 50 % в Новгородской области, до 74 % - в Псковской области зарастанию древесно-кустарниковой растительностью подвержены 42-57 % их территории (в среднем по СЗФО 48 %) (табл. 3).

Таблица 3 – Агромелиоративное состояние сельскохозяйственных угодий и пашни на Северо-Западе России (по Янко, Иванову 2019)

Субъекты Российской Федерации	Сельскохозяйственные угодья, тыс. га				Пашня		
	всего	эродированные	переувлажненные	заболоченные	Всего, тыс. га	неиспользуемая, %	зарастающая ДКР, %
Северо-Западный ф.о.	5451	219	2075	888	2987	45	48
Республика Карелия	138	0	9	14	69	53	56
Республика Коми	295	3	88	40	75	38	42
Архангельская область	634	26	166	84	277	72	58
Вологодская область	1097	59	380	107	717	50	55
Калининградская область	729	2	370	31	365	46	51
Ленинградская область	623	26	359	73	360	35	42
Мурманская область	25	0	0,1	0	20	25	28
Новгородская область	702	26	266	109	454	50	57
Псковская область	1186	82	437	430	651	26	46

Постепенный выход из строя осушительных систем на фоне увеличения доли ливневых осадков усилил вторичное заболачивание земель, охватившее к настоящему времени до 20 % сельскохозяйственных угодий (Гулюк и др., 2020). По причине постепенного выхода из строя осушительных мелиоративных систем доля земель с потенциально опасным на фоне избыточных осадков периодом переувлажнения увеличилась до 54%.



В число генетических особенностей дерново-подзолистых почв Северо-Западного региона входят: повышенная кислотность (связана с низкой обеспеченностью почвообразующих пород основаниями (кальцием и магнием) и их выщелачиванием в процессе почвообразования, низкая гумусированность (вызвана недостатком исходных гумусообразователей и их усиленной минерализацией, высокой подвижностью преимущественно фульватных компонентов), недостаточная обеспеченность доступных для растений питательных веществ, а также высокая пространственная неоднородность всего комплекса свойств. По имеющимся данным коэффициент вариации отдельных показателей агрофизических кондиций почвы в большинстве случаев находился в пределах до 10 %. Однако в почвенных комбинациях типа мозаик этот показатель относительно содержания физической глины и наименьшей влагоёмкости может достигать 30 и более % (Иванов и др., 2014; Конашенков, 2014). Существенное варьирование возможно и у свойств, зависящих от структурного состояния почвы.

Пространственная неоднородность агрохимических свойств у региональных почв выражена ещё значительнее. Так, в условиях Псковской области её уровень в настоящее время оценивается в 57 % по рН<sub>сол.</sub>, 87 % по содержанию подвижного фосфора и в 52% - по содержанию подвижного калия (Конашенков, 2014; Архипов и др., 2018)

Неравномерное распределение удобрений по объектам внесения лишь усиливает пространственную неоднородность в региональном масштабе, а нарушение технологий внесения – пестроту плодородия в пределах конкретного поля (Конашенков и др., 2007; Конашенков, 2014). С другой стороны, высокая неоднородность свойств почвы является одним из факторов снижения эффективности применяемых мелиорантов и удобрений. Однако, более тяжёлые последствия для регионального земледелия связаны с длительным вынужденным отказом от применения удобрений.

На фоне резкого сокращения объёмов применения всех видов удобрений скрытая деградация комплекса агрохимических, агрофизических и физи-

ко-химических свойств почвы стала практически неизбежной. Применительно к агрофизическому состоянию дерново-подзолистых почв быстрее других ухудшаются свойства, связанные с их структурностью. В ходе длительных исследований (Иванов, Конашенков, 2018) показано, что утрата пахотным и подпахотным слоями почвы оснований вызывает не просто подкисление почвы, но и перестройку коллоидного комплекса почвы. Негативными последствиями усиления золеобразования становятся повышение миграционной и снижение адгезионной способности коллоидов и, как следствие, постепенное ухудшение структурного состояния почв (табл. 4).

Таблица 4 - Динамика кислотности и физических свойств дерново-подзолистой глееватой почвы в ходе скрытой 30-летней деградации  
(по Иванову, Конашенкову, 2018)

Вид почвы	Свойства почвы по разновидностям						
	pH <sub>KCl</sub>	m <sub>об.</sub>	m <sub>уд.</sub>	V <sub>пор.</sub> , %	НВ, %	K <sub>структ.</sub>	K <sub>водопр.</sub>
Супесчаная дерново-подзолистая почва							
Хорошо окультуренная	6,24	1,24	2,60	52,0	23,3	1,77	0,85
Среднеокультуренная	4,59	1,37	2,71	49,5	18,5	0,43	0,24
Среднесуглинистая дерново-подзолистая почва							
Хорошо окультуренная	6,48	1,26	2,32	45,7	36,8	1,82	0,77
Среднеокультуренная	4,92	1,41	2,45	42,5	28,8	0,29	0,16

Снижение pH солевой вытяжки на 1,56-1,65 единицы сопровождалось сокращением коэффициента структурности в 4,1 – 6,3 раза и водопрочности агрономически ценных агрегатов в 3,5-4,8 раза. При этом наименьшая влагоемкость почвы снизилась на 16-21 %. Темпы ухудшения агрофизических свойств у почв тяжёлого гранулометрического состава существенно выше, чем у лёгких.

Факт скрытой деградации агрохимических свойств убедительно подтверждается результатами исследований в длительных опытах и не получает объективной оценки данными современного агрохимического обследования (Ефимов, Иванов, 2001; Сычёв и др., 2008; Сычёв, 2019).

Обобщение данных агрохимического обследования пашни Псковской, Новгородской и Ленинградской областей в двадцатипятилетие, когда выполнялось сплошное исследование пашни, демонстрирует необычную стабильность этих свойств (рис. 2). По мнению ряда учёных (Архипов и др., 2016, Фрейдкин, 2017, Иванов и др., 2019), это объясняется особенностями современной методики агрохимического обследования, затрагивающего только активно используемые пахотные угодья. Дерново-подзолистые почвы на этих полях ранее обладали лучшими свойствами и относились, преимущественно, к видам средне-, хорошо-, и высокоокультуренных почв (Иванов и др., 2019).

Несмотря на то, что средневзвешенные параметры почвы по региону составляют рН - 5,6, гумус - 2,5 %, подвижного  $P_2O_5$  – 100 мг/кг, обменного  $K_2O$  – 119 мг/кг, доля малогумусированных почв достигла 64 %, нуждающихся в известковании – 46 %, с низкой и очень низкой обеспеченностью подвижного калия – 36 %, и подвижными фосфатами – 12 % (Архипов и др., 2016). Общая доля окультуренных дерново-подзолистых почв снизилась с 15-20 % в начале 90-х годов (Иванов, Иванова, Иванов, 1994; Небольсин и др., 1997) до 4-5 % в настоящее время (Иванов, Конашенков, 2018; Архипов и др., 2016, 2018).

Таким образом, основным средством производства на Северо-Западе России сегодня являются кислые малогумусные и весьма бедные питательными веществами почвы дерново-подзолистого типа. Концентрация товарного земледелия на почвах окультуренного вида без активного применения мелиорантов и удобрений ускорила их деградацию. Их эффективное использование возможно только при поддержании в состоянии хорошей или средней окультуренности. Интенсивное развитие явных и скрытых деградационных

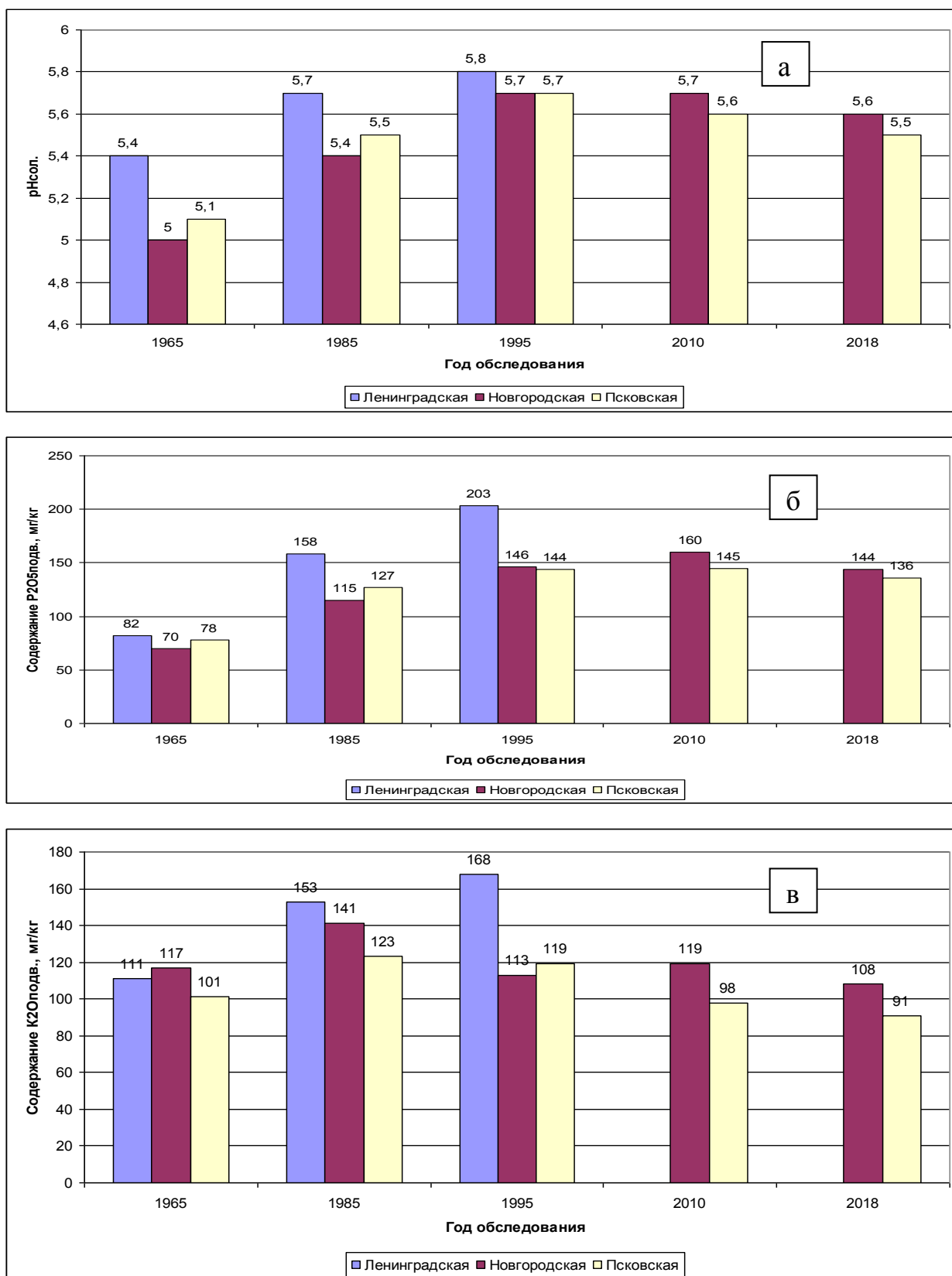


Рисунок 2 - Динамика агрохимических свойств (а –  $pH_{KCl}$ , б –  $P_2O_5$ подв., в –  $K_2O$ подв.) почв пашни Ленинградской, Новгородской и Псковской областей

(информация по состоянию на 1985 г. – Иванов И.А. (1989), на 1995 г. – Иванов А.И. (2000), на 2010 г. – Доклад о состоянии и использовании земель... (2011), на 2019 г. - Доклад о состоянии и использовании земель ... (2021).

процессов в современных условиях делает остро актуальным поиск дешёвых и эффективных средств и методов их предотвращения.

## 2.2 Характеристика объектов исследования

В качестве основных объектов исследования в полевом эксперименте служили типичная для Северо-Запада России дерново-слабоподзолистая почва, а также полевые и овощные культуры полевого и овощекормового севооборотов, наиболее широко представленные в структуре посевных площадей региона.

### 2.2.1 Агрогенетическая характеристика почвы опыта

Меньковский филиал АФИ расположен в пределах обширной озёрно-ледниковой равнины, где основными почвообразующими породами обычно выступают маломощные моренные отложения и озёрно-ледниковые пески и супеси, подстилаемые красноцветными девонскими песками. В автоморфных условиях увлажнения полого-волнистой равнины под смешанными хвойно-мелколиственными лесами здесь формируются типичные дерново-подзолистые почвы, а на фоне периодического переувлажнения (в полугидроморфных условиях) дерново-подзолистые глееватые и глеевые (Моисеев, Зинчук, 2014, 2016). Гранулометрический состав почвы практически всегда определяется почвообразующей породой. Доминирующими (более 90 %) в землепользовании Меньковского филиала АФИ являются почвы лёгкого (супесчаного и легкосуглинистого) гранулометрического состава (Петрушенко, 2006; Моисеев, Зинчук, 2020).

Чтобы реализовать в полной мере методические принципы типичности и технологической гетерогенности, перед закладкой полевого опыта искусственно формировались три вида почвы по уровню окультуренности (средне-окультуренная, хорошо окультуренная и высокоокультуренная). Детальное

описание их свойств будет представлено в соответствующих разделах работы. Однако исходной для формирования этих почвенных разностей служила среднеокультуренная дерново-слабоподзолистая почва, ставшая таковой вследствие деградации прежней хорошо окультуренной почвы.

Более полное представление о её генезисе и морфологических свойствах даёт описание заложенного нами почвенного разреза.

Апах. 0-22 см - светло-серая комковато-пылеватая супесь, уплотнённая, свежая. Корни в обилии, ходы землероев. Переход заметный по сложению.

A<sub>1</sub>A<sub>2</sub> 22-32 см – светло-серая с палевыми пятнами пылеватая супесь, плотная свежая. Корни в обилии, ходы землероев. Переход неровный, заметный по цвету.

A<sub>2</sub>B 32-43 см палевая с серыми пятнами затеков гумуса супесь, плотная, свежая, корни в обилии, структура выражена слабо, непрочная комковато-порошистая. Переход языковатый, заметный по цвету.

B 43-91 см белесоватая с охристыми (красноватыми) пятнами супесь, плотная, свежая, структура комковато-глыбистая. Единичные корни и ходы землероев. Переход неясный по цвету и сложению.

BC 91-112 см охристый (красноватый) с белесыми пятнами, лёгкий суглинок, очень плотный, много корней, светлые пятна более легкие по грансоставу, включения гранитной гальки, структура глыбистая. Переход четкий, резкий по цвету и составу.

D 112-177 см – сверху желтоватый, ниже розовато-красный песок, яркоокрашенный, бесструктурный, свежий неоднородный.

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемым с глубины 112 см озёрно-ледниковым песком.

Представленная почва сформировалась на двухчленном отложении (маломощной морене, подстилаемой озёрно-ледниковым песком), часто встречающемся в пределах озёрно-ледниковых равнин (Гагарина и др., 1995; Иванов, Спасов, Иванов, 1997; Моисеев, Зинчук, 2014, 2016). Большую часть

своей истории она развивалась под хвойно-мелколиственной таёжной растительностью. Её сельскохозяйственное освоение осуществлено около 300 лет назад. Период интенсивного использования с активным применением мелиорантов и удобрений пришёлся на 70-80-ые годы. К середине 80-х годов комплекс её агрофизических и агрохимических свойств был доведён до состояния хорошей окультуренности (Петрушенко, 2006). Однако в условиях острого дефицита мелиорантов и удобрений к началу 2000-х годов они ухудшились до показателей средней окультуренности. Исключение составила только обеспеченность почвы подвижными фосфатами.

Почва опыта формировалась и продолжает формироваться под действием дернового (аккумулятивного), подзолистого (элювиального) и ряда сопутствующих (лэссиваж и др.) процессов почвообразования. Наиболее актуальными с позиции эффективного плодородия факторами в ней выступают ограниченный приход органического вещества, кислое алюмосиликатное происхождение почвообразующей породы, повышенная в условиях промывного водного режима миграционная способность оснований и органического вещества.

### 2.2.2 Агрофизическая и агрохимическая характеристика почвы опыта

Агрофизические и агрохимические свойства почвы практически нацело определяют её питательный режим и обеспеченность корневых систем растений воздухом, водой, теплом и питанием.

Перед закладкой опыта почва в пахотном слое обладала плотностью твёрдой фазы 2,33-2,42 г/см<sup>3</sup>, общей пористостью 43,4-45,2 %, непрочной комковато-порошистой структурой, наименьшей влагоёмкостью 23,6-24,4 %, влажностью устойчивого завядания 6,8-7,1 %. По гранулометрическому составу почва опыта крупнопылевато-мелкопесчаная супесь (табл. 5).

Из представленных в таблице 5 данных видно, что естественное перераспределение гранулометрических фракций между генетическими горизон-

Таблица 5 - Гранулометрический состав исходной среднеокультуренной дерново-слабоподзолистой почвы опыта

Горизонт	Глубина взятия образца, см.	Фракция (размер частиц, мм), %						
		1-0,25	0,25- 0,05	0,05- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,001	<0,001	<0,01
Апах.	0-22	17,6	46,3	21,6	6,2	5,9	4,4	16,5
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	22-32	21,7	36,5	25,5	6,2	4,9	5,2	16,3
А <sub>2</sub> В	32-43	24	46,1	12,8	3,7	5,8	7,6	17,1
В	43-91	19,2	41,1	13,3	3,3	9,1	14	26,4
ВС	91-112	22	38,6	13,5	4,7	3,4	17,8	25,9
Д	112-177	35,9	54,3	2,6	3,8	1,8	1,6	7,2

тами связано, главным образом, с миграцией и осаждением в горизонте В илистых и мелкопылеватых частиц, совокупная доля которых увеличивается здесь относительно пахотного слоя в 2-3 раза.

Агрохимические свойства почвы опыта создавались искусственно за счёт внесения в 2003-2005 гг. в среднеокультуренную почву 220 т/га органических удобрений и 1 т/га извести для формирования уровня хорошей окультуренности почвы, а также 540 т/га органических удобрений и 3 т/га извести для формирования высокоокультуренной почвы. В целом достигнутые в результате этого параметры соответствовали средней, хорошей и высокой окультуренности (табл. 6).

Таблица 6 - Агрохимические показатели почвы перед закладкой опыта

№№ пп	Вид почвы	рН <sub>КСІ</sub>	Орг. в-во, %	N <sub>общ.</sub> , %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
					мг/кг почвы	
Полевой севооборот						
1	Среднеокультуренная	5,5-5,7	2,58-3,23	0,11-0,15	287-305	190-255
2	Хорошо окультуренная	6,0-6,4	3,12-3,48	0,16-0,18	320-356	400-475
3	Высокоокультуренная	6,2-6,6	3,22-4,39	0,17-0,24	375-462	505-820
Овощекормовой севооборот						
1	Среднеокультуренная	5,4-5,8	2,52-3,75	0,11-0,20	254-293	210-255
2	Хорошо окультуренная	6,0-6,2	3,21-4,34	0,21-0,25	356-388	475-585
3	Высокоокультуренная	6,2-6,4	3,62-4,26	0,21-0,27	417-477	745-880



Исходную среднеокультуренную почву опыта отличала слабокислая и близкая к нейтральной реакция среды, средняя гумусированность и высокая обеспеченность подвижными соединениями калия и очень высокая – фосфора. Такое состояние почвы стало прямым следствием интенсивной химизации в 70-80-ые годы, когда уровень её окультуренности оценивался как хороший, а все агрохимические и агрофизические кондиции были оптимизированы для возделывания самых требовательных культур.

Таким образом, почва опыта сформирована на типичном для региона моренном отложении при общем доминировании дернового и подзолистого почвообразовательных процессов. Её агрохимические свойства были значительно улучшены в годы химизации земледелия и продолжали быть близкими к оптимальным параметрам и в 2006 году. Напротив, большинство агрофизических свойств к этому времени было далеко от оптимума.

### 2.2.3 Биологические особенности культур полевого и овощекормового севооборотов

Основными биологическими объектами нашего исследования были зерновые культуры (ячмень, озимая рожь и озимая пшеница), многолетние и однолетние травы, пропашные (картофель, капуста и свёкла).

Ячмень является весьма распространённой культурой Нечернозёмной зоны Российской Федерации. Здесь он возделывается в основном на фуражные цели. Ячмень не отличается повышенной требовательностью к окультуренности почвы и успешно произрастает на слабокислых, в том числе и супесчаных, почвах. Требовательность этой культуры к плодородию почв сильно зависит от её сортовых особенностей (естественно, что у южных представителей ячменя требования к плодородию выше, чем у более северных). Особенностью питания ячменя является сильная его нуждаемость в минеральных удобрениях, преимущественно в азотных, вследствие непродолжительного периода потребления элементов питания и слабого использо-

вания их из почвы. Кроме того, ячмень, как и другие яровые зерновые, положительно реагирует на известкование, отзываясь на это мероприятие прибавкой урожая до 0,5 т/га. Считается нецелесообразным вносить под ячмень органические удобрения. При этом на их последствие ячмень отзывается хорошо.

Сорт ячменя Ленинградский, возделываемый в опыте во второй ротации, относится к группе скороспелых (70-80 дн.) сортов кормового направления с выраженной устойчивостью к полеганию. Обладает средним потенциалом урожайности (до 6,0 т/га при массе 1000 зёрен 40-45 г) и, как следствие, удовлетворительной отзывчивостью на применение удобрений. Другим достоинством сорта является высокая пластичность и пониженная требовательность к почвенно-экологическим условиям. Способность к преодолению характерных для региона раннелетних засух связана с очень быстрым развитием в начальный период. Его отличает низкая восприимчивость к возбудителям сетчатой и темно-бурой пятнистости, дружное созревание зерна и устойчивость к осыпанию и прорастанию зерна в колосе, а также повышенное содержание белка и незаменимых аминокислот.

Озимая рожь, благодаря своей высокой продуктивности, является весьма распространённой культурой в условиях Нечерноземья РФ. Здесь её выращивают как на продовольственные, так и на кормовые цели. Однако на Северо-Западе России её площади в последние 2 десятилетия резко сократились (Архипов и др., 2016, 2018). Система удобрения озимой ржи, как правило, ориентируется на повышение её зимостойкости. При этом озимая рожь хорошо развивается в широком диапазоне  $pH_{\text{сол}}$  (5-7,5). Чаще всего местом извести становятся предшественники озимой ржи. Следует также отметить, что озимая рожь хорошо отзывается и на органические удобрения, реагируя прибавкой урожая до 0,7 т/га. При разработке же минеральной системы удобрения под озимую рожь учитываются дозы органических удобрений и сроки их внесения. Особенного внимания здесь требует применение азотных удобрений. Эффективность фосфорных и калийных удобрений при возделывании

вании озимой ржи обусловлена необходимостью достаточного питания соответствующими элементами растений ржи накануне их перезимовки, которая получается более удачной при достаточном запасе пластических веществ, главным образом углеводов.

Возделываемый в опыте сорт озимой ржи Эра является среднеспелым, высокоурожайным и зимостойким. Главное достоинство сорта Эра - устойчивость к болезням: снежной плесени, бурой и стеблевой ржавчинам и мучнистой росе. Сорт характеризуется высокой адаптивностью в условиях Северо-Западного региона.

Озимая пшеница (в отличие от ржи) является одной из самых распространенных продовольственных культур, ценность зерна которой определяется высоким содержанием белка, жира и углеводов. Озимая пшеница – культура более требовательная, чем рожь к почвенно-экологическим, агрофизическим и агрохимическим условиям. Она предпочитает связные (легко-, средне- и тяжелосуглинистые) окультуренные почвы с близкой к нейтральной или нейтральной реакцией среды и хорошей дренированностью. По этой причине она хорошо отзывается на известкование кислых дерново-подзолистых почв в чистом пару или под парозанимающий предшественник, а так же на применение органических и минеральных удобрений. Как и рожь, чувствительна к избытку азота в осенний период и к его недостатку в фазе отрастания-кущения – в весенний период.

Озимая пшеница в период вегетации растений на создание урожая расходует большое количество питательных веществ. На образование 1 т зерна с соответствующим количеством соломы и половы озимая пшеница потребляет из почвы в среднем: азота (N) 30-35 кг, фосфора ( $P_2O_5$ ) 10-13 кг и калия ( $K_2O$ ) до 30 кг. Наибольшее количество азота и фосфора из удобренной почвы поглощается озимой пшеницей в период между кущением и молочной спелостью. На хорошо заправленной удобрениями почве примерно 2/3 азота и 3/4 фосфора усваивается в период от кущения до цветения. Под влиянием азота, фосфора и калия лучше развивается вегетативная масса и корневая

система озимой пшеницы. Азот требуется как в первый, так и в последующие периоды роста и развития растений. Фосфор особенно необходим в первый период роста для лучшего укоренения, развития корневой системы, накопления в клетках сахаров и других пластических веществ, предохраняющих растение от вымерзания, а также во время формирования генеративных органов и созревания зерна. Калий интенсивно поглощается озимой пшеницей начиная с первых дней роста до цветения.

Озимая пшеница сорта Московская 56, возделываемая в опыте, характеризуется средними биометрическими показателями и средней скороспелостью с продолжительностью вегетационного периода от 290 до 330 дней. Её отличает: повышенный продуктивный потенциал (до 8-9 т/га) при массе 1000- зёрен в 40-50 г и его хороших хлебопекарных качествах; средний и повышенный уровень зимостойкости, устойчивости к засухе и полеганию; восприимчивость к возбудителям заболеваний от слабой к септориозу, до средней – к бурой ржавчине и мучнистой росе и высокой – к снежной плесени.

Биологические особенности многолетних трав позволяют им быть, безусловно, самыми распространёнными сельскохозяйственными культурами в Нечернозёмной зоне. Многолетние травы характеризуются повышенным потреблением элементов питания, поскольку вегетируют с ранней весны до поздней осени. Их требования к плодородию почвы не одинаковы и сильно варьируют в зависимости от конкретной культуры и особенностей её питательного режима. Принято считать, что для бобовых подходят средне- и хорошокультуренные суглинистые почвы с  $pH_{\text{сол.}}$  – 5,5 – 7. Злаковые травы не столь требовательны к почвенным условиям, хорошо произрастая, в том числе, и на супесчаных почвах и характеризуясь широким приемлемым для них диапазоном  $pH_{\text{сол.}}$  (от 4,5 до 7).

При возделывании многолетних трав применяют полные дозы извести, чаще внося мелиорант под покровную траву культуры. Уровень применения органических удобрений на многолетних травах определяется составом травостоя и направлением его хозяйственного использования, допуская под-

кормки трав при накапливании в хозяйстве большого количества жидкого навоза и навозной жижи. Но зачастую удобрение многолетних трав основывается на последствии внесённых под предыдущие культуры органических удобрений. Минеральная система удобрения многолетних трав варьирует в зависимости от видов трав. К примеру, под посеvy бобовых трав использование азотных удобрений излишне и ведёт к снижению симбиотической азот-фиксации.

Сорт клевера красного Орфей, использованный в опыте, является среднепоздним сортом (60-65 дн. до цветения и 95-125 дн. – до созревания семян) одноукосного типа с одним из самых лучших уровней пластичности. Способен удовлетворительно развиваться и перезимовывать даже на средне кислых почвах (Тумасова, Демшина, Грипась, Онучина, 2006; Онучина и др., 2016; Онучина, Корнева, 2018). Обладает высоким потенциалом продуктивности (до 13 т/га сухого вещества и до 0,7 т/га семян) при удовлетворительном качестве зелёной массы (сырой протеин – 12-17 %, сырая клетчатка – 21-22 %) и относительной устойчивостью к поражению корневыми гнилями. Слабая зависимость от почвенно-агрохимических условий обеспечивает сорту низкую отзывчивость на применение удобрений.

Сорт тимopheевки луговой Ленинградская 204, также использованный в нашем опыте, является высокозимостойким сортом и сравнительно устойчивым к грибным болезням.

Картофель является распространённой товарной культурой Нечернозёмной зоны и отличается средней требовательностью к почвам. Он удовлетворительно переносит повышенную кислотность почв. При этом для картофеля крайне нежелательны тяжёлые и склонные к переуплотнению почвы. Наиболее приемлемыми почвами для этой культуры являются хорошо окультуренные легко- и среднесуглинистые почвы, а также освоенные торфяно-болотные почвы. Он плохо переносит известкование полными дозами, но отличается хорошей отзывчивостью на применение органических удобрений, которые, помимо обеспечения культуры элементами питания, благоприятно

вливают на формирование положительных физических и биологических свойств почв. Особенностью минерального питания картофеля является опасность избытка азота в период клубнеобразования. Нежелательна также и высокая концентрация хлора при использовании хлорсодержащих калийных удобрений, которая ведёт к снижению крахмалистости картофеля.

Сорт картофеля Ломоносовский, возделываемый в опыте, является ранним по сроку созревания. Для этого сорта также характерна высокая экологическая пластичность и стабильная по годам урожайность. Он обладает хорошей лежкоспособностью, отзывчив на внесение удобрений. Для выращивания предпочтительны дерново-подзолистые легкосуглинистые почвы.

Белокочанная капуста относится к семейству крестоцветных, роду Брассика. Это двулетнее растение. В первый год оно образует укороченный, крепкий, сильно утолщенный стебель («кочерыгу»), с сидячими или черешковыми листьями. Белокочанная капуста — малотребовательное к теплу, холодостойкое растение. Медленное прорастание семян у нее может идти при температуре 2—3 °С. Белокочанная капуста весьма отзывчива на внесение органических и минеральных удобрений. Капуста дает высокие урожаи на разных почвах, за исключением песчаных и щебенчатых. Особенно благоприятны для нее суглинистые почвы.

Позднеспелые сорта капусты более требовательны к плодородию почвы, чем скороспелые и среднеспелые. Капуста плохо произрастает на кислых почвах. При повышенной кислотности почвы (рН 5,5 и менее) высокие урожаи без известкования невозможны. Капуста хорошо растет на нейтральных и щелочных почвах (рН 6,0 и более). Белокочанная капуста потребляет при формировании урожая большое количество азота, калия, фосфора и кальция. Потребление питательных веществ различно на разных этапах роста капусты. В первый период после посадки она поглощает их в небольших количествах. Для нормального развития капусте нужны и микроэлементы (бор, медь, марганец и др.), которые повышают урожай, ускоряют созревание кочанов и улучшают их химический состав. Сорт белокачанной капусты Агрессор от-

личается неприхотливостью, невосприимчивостью к болезням и вредителям, быстрым ростом и высокими способностями к конкуренции за ресурсы питания и света.

Свекла — двулетнее растение. В первый год жизни образует корнеплод, во второй — семена (соплодия). Корневая система стержневая, мощная, хорошо разветвленная. Её корни способны проникать на глубину до 2,5 м, и в ширину до 0,5 м, благодаря чему растения отличаются высокой засухоустойчивостью. Среди корнеплодов свеклы наиболее теплолюбивая культура. Корнеплоды, подвергшиеся даже небольшим заморозкам, теряют способность к хранению в зимний период. Свекла хорошо отзывается прибавкой урожая на применение минеральных, органических и известковых удобрений. Особенно значительное влияние на урожайность свеклы оказывают азотные удобрения, однако повышение азота вызывает накопление большого количества нитратов в корнеплодах.

Система удобрений свеклы столовой в значительной мере определяется назначением и временем использования корнеплодов. Под свеклу для детского и диетического питания следует ограничивать дозы азота и заметно увеличивать дозы фосфора и калия. Умеренное азотное и повышенное фосфорно-калийное питание необходимо также, если корнеплоды предназначены для закладки на длительное хранение. Свеклу не предназначенную для длительного хранения или детского питания размещают по последствию высоких доз навоза, а дозы минеральных удобрений рассчитывают исходя из плодородия почвы и планируемой урожайности. Сорт столовой свёклы Бикорес отличается высокой урожайностью и относительной неприхотливостью к условиям тепло- и влагообеспеченности. Корнеплод крупный, выровненный, интенсивно окрашенный, массой до 200 г, с высокими вкусовыми качествами.

Однолетние травы в регионе чаще представлены смесевыми посевами яровых злаковых и бобовых культур. Обычно это овёс в смеси с викой или горохом посевными. Овес посевной - однолетнее злаковое растение с мочко-

ватой корневой системой. Среди однолетних злаковых культур его отличает наименьшая требовательность к уровню почвенного плодородия. Предпочитая почвы от супесчаного до легкосуглинистого гранулометрического состава, он способен давать удовлетворительные урожаи и на песчаных и тяжело-суглинистых почвах. Овёс лучше других зерновых культур переносит кислые почвы, но при этом хорошо отзывается и на известкование. Он также нетребователен к теплу. Однако максимальные урожаи в регионе дает в годы с лучшей тепло- и влагообеспеченностью. В отличие от ячменя, характеризуется более продолжительным (до 2 мес.) периодом максимального потребления питательных веществ, что позволяет лучше переносить неблагоприятные погодные явления.

Овёс сорта Скакун отличается особенно высокой экологической пластичностью, вследствие чего районирован почти по всей территории РФ. Устойчив к засухе, к полеганию и осыпанию зерна, к поражению корончатой ржавчиной и пыльной головней. Хорошо отзывается на окультуривание почвы и применение повышенных доз минеральных удобрений.

Горох посевной - однолетнее растение с цепляющимися тонкими стеблями, не предъявляющее больших требований к теплу. Прорастание его начинается при 1-2°C. Всходы легко переносят весенние заморозки (до 4-5°C), что дает возможность сеять его в ранние сроки. К почвенным условиям горох весьма требователен. Предпочитает хорошо увлажненные и некислые почвы легко- и среднесуглинистого гранулометрического состава. Хорошо отзывается на известкование кислых почв. Несмотря на наличие симбиоза с азотфиксирующими бактериями, нуждается в применении средних доз азотных удобрений. Благодаря мощно развитой корневой системе способен усваивать в т.ч. и труднодоступные соединения фосфора и калия почвы.

Горох посевной сорта Северянин относится к среднепоздним сортам кормового назначения с вегетационным периодом 78-96 дней. Средне устойчив к полеганию и засухе, выше среднего – к растрескиванию бобов. Весьма восприимчив к аскохитозу, антракнозу и корневым гнилям.



Однолетние травы в регионе часто являются парозанимающей культурой, поэтому под них принято вносить невысокие дозы органических удобрений, на которые они хорошо отзываются. При этом уровень применения минеральных удобрений заметно снижается.

#### 2.2.4 Характеристика использованных в опыте мелиорантов и удобрений

В качестве основных средств воспроизводства плодородия изучаемой дерново-подзолистой почвы в опыте выступали доломитовая мука, навоз КРС, птичий помёт и минеральные удобрения.

Доломитовая мука производства ООО «Щебсервис» из Кикеринского месторождения Волосовского района Ленинградской области. Обладала следующими характеристиками: тонина помола (<1мм) – 99,9 %; нейтрализующая способность – 99,2 %; массовая доля  $\text{CaCO}_3$  – 81,3 %; массовая доля  $\text{MgCO}_3$  – 18,2 %.

Состав и свойства использованных в опыте органических удобрений представлены в табл. 7. Использованные в опыте партии навоза КРС содержали в 1 т в среднем около 10 кг действующего вещества, а птичий помёт – более 38 кг.

Таблица 7 – Состав и свойства органических удобрений в опыте

Показатель, ед. изм.	Параметры содержания по видам удобрений		
	Навоз КРС (среднее за 2003-2005 гг.)	Навоз КРС (2006-2017 гг.)	Птичий помёт
Влажность, %	77,6	80,3	54,5
Органическое вещество, %	88,3	90,2	75,8
$\text{pH}_{\text{КСI}}$	6,4	6,5	8,7
N общ., % (при ест. вл.)	0,48	0,43	1,15
$\text{P}_2\text{O}_5$ общ., % (при ест. вл.)	0,17	0,15	1,67
$\text{K}_2\text{O}$ общ., % (при ест. вл.)	0,45	0,38	0,99
Сумма N + $\text{P}_2\text{O}_5$ + $\text{K}_2\text{O}$ , кг/т	11,0	9,6	38,2

В качестве минеральных удобрений в опыте использовались сухие смеси из комплексных (азофоска, экофоска, аммофоска) и простых (аммиачная

селитра, карбамид, хлористый калий) минеральных удобрений. Их состав и свойства соответствовали ГОСТам.

### 2.3 Методика проведения исследований

Методической базой исследования служил многолетний стационарный эксперимент «Агрофизический стационар», заложенный в 2006 году по методике, разработанной академиком Виктором Анатольевичем Семёновым (Иванова и др., 2017). Для реализации методического принципа технологической гетерогенности он заложен в севооборотах двух типов по интенсивности (овощекормовом и полевом), на почвах трех видов по уровню окультуренности и трех уровнях применения удобрений.

Применительно к отдельно взятому севообороту опыт имеет двухфакторную схему: фактор А (три варианта) – уровень окультуренности почвы, поддерживаемый применением разных доз органических удобрений; фактор Б (три варианта) – доза минеральных удобрений от нулевого до повышенного уровня.

Трёхвариантная схема опыта по фактору А формировалась предшествующим закладке опыта окультуриванием за счёт известкования базовой среднеокультуренной почвы и внесения высоких доз подстилочного навоза КРС. Для формирования хорошо и высокоокультуренной почв в течение 2003-2005 гг. под возделываемые в опыте однолетние травы было внесено 1 и 3 т/га доломитовой муки, а так же 220 и 540 т/га навоза соответственно.

Трёхвариантная схема минеральной системы удобрения в опыте рассчитывалась под каждую культуру, исходя из заданных параметров продуктивности фотосинтеза с выходом на КПД ФАР от 2 до 3-4 %. В неудобренном варианте контроля использование КПД ФАР должно было составить 1-1,5 %, во 2-ом варианте со средними дозами минеральных удобрений – 2-3 %, и, наконец, в 3-ем варианте с повышенными дозами минеральных удобрений это значение должно было колебаться в пределах от 3 до 4 %. Фактиче-

ские дозы минеральных удобрений по годам, культурам и вариантам опыта представлены в табл. 8, 9. Уровень хорошей и высокой окультуренности

Таблица 8 – Уровень применения удобрений в полевом севообороте

Год	Культура	Вариант (фактор А)	Дозы минеральных удобрений при уровне окультуренности почвы (фактор Б)		
			средний	хороший	высокий
2012	Ячмень + многол. травы	НПК0	без удобрений	без удобрений	без удобрений
		НПК1	N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>
		НПК2	N <sub>90</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub>	N <sub>90</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub>	N <sub>90</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub>
2013	Многол. травы 1-го года исп.	НПК0	без удобрений	без удобрений	без удобрений
		НПК1	N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>
		НПК2	N <sub>90</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub>	N <sub>90</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub>	N <sub>90</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub>
2014	Многол. травы 2-го года исп.	НПК0	без удобрений	без удобрений	без удобрений
		НПК1	N <sub>20</sub> P <sub>20</sub> K <sub>20</sub>	N <sub>20</sub> P <sub>20</sub> K <sub>20</sub>	N <sub>20</sub> P <sub>20</sub> K <sub>20</sub>
		НПК2	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>
2015	Озимая рожь	НПК0	без удобрений	без удобрений	без удобрений
		НПК1	N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub> +N <sub>40</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub> +N <sub>40</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub> +N <sub>40</sub>
		НПК2	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +N <sub>80</sub>	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +N <sub>80</sub>	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +N <sub>80</sub>
2016	Картофель	НПК0	без удобрений	без удобрений	без удобрений
		НПК1	N <sub>80</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub>	N <sub>80</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub>	N <sub>80</sub> P <sub>20</sub> K <sub>100</sub>
		НПК2	N <sub>120</sub> P <sub>40</sub> K <sub>150</sub>	N <sub>120</sub> P <sub>40</sub> K <sub>150</sub>	N <sub>120</sub> P <sub>40</sub> K <sub>150</sub>
2017	Однолетние травы	НПК0	без удобрений	без удобрений	без удобрений
		НПК1	N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>
		НПК2	N <sub>90</sub> P <sub>45</sub> K <sub>90</sub>	N <sub>90</sub> P <sub>45</sub> K <sub>90</sub>	N <sub>90</sub> P <sub>45</sub> K <sub>90</sub>

поддерживался двухкратным за 12 лет опыта внесением органических удобрений: 40 и 80 т/га навоза в первой ротации и 35 и 70 т/га птичьего помёта – во второй ротации.

Размещение делянок в опыте систематическое. Повторность трёхкратная. Общая площадь делянки в опыте 200 м<sup>2</sup>. Учётная площадь делянки в зависимости от возделываемой культуры и технологии уборки составляла 120-160 м<sup>2</sup>.

Перед закладкой опыта весной и после уборки культур осенью проводили отбор средних проб почвы тростьевым буром на глубину пахотного слоя. Средняя проба формировалась из 25 индивидуальных проб (уколов

Таблица 9 – Уровень применения удобрений в овощекормовом севообороте

Год	Культура	Вариант (фактор А)	Дозы минеральных удобрений при уровне окультуренности почвы (фактор Б)		
			средний	хороший	высокий
2012	Картофель	НРК0	без удобрений	без удобрений	без удобрений
		НРК1	N <sub>80</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>	N <sub>80</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>	N <sub>80</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>
		НРК2	N <sub>100</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	N <sub>100</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	N <sub>100</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>
2013	Озимая пшеница	НРК0	без удобрений	без удобрений	без удобрений
		НРК1	N <sub>80</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>	N <sub>80</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>	N <sub>80</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>
		НРК2	N <sub>100</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	N <sub>100</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	N <sub>100</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>
2014	Люпин узколистный	НРК0	без удобрений	без удобрений	без удобрений
		НРК1	N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>
		НРК2	N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>
2015	Свёкла столовая	НРК0	без удобрений	без удобрений	без удобрений
		НРК1	N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>
		НРК2	N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>
2016	Капуста белокочанная	НРК0	без удобрений	без удобрений	без удобрений
		НРК1	N <sub>100</sub> P <sub>40</sub> K <sub>160</sub>	N <sub>100</sub> P <sub>40</sub> K <sub>160</sub>	N <sub>100</sub> P <sub>40</sub> K <sub>160</sub>
		НРК2	N <sub>150</sub> P <sub>60</sub> K <sub>240</sub>	N <sub>150</sub> P <sub>60</sub> K <sub>240</sub>	N <sub>150</sub> P <sub>60</sub> K <sub>240</sub>
2017	Ячмень	НРК0	без удобрений	без удобрений	без удобрений
		НРК1	N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>
		НРК2	N <sub>90</sub> P <sub>45</sub> K <sub>90</sub>	N <sub>90</sub> P <sub>45</sub> K <sub>90</sub>	N <sub>90</sub> P <sub>45</sub> K <sub>90</sub>

буром) выполненных равномерно по диагонали делянки опыта.

По завершении первой и второй ротации полевого и овощекормового севооборотов в опыте закладывалась серия почвенных разрезов по общепринятой в почвоведении методике (Ганжара, Борисов, Байбеков, 2002). В них велось органолептическое изучение морфологических свойств, а отбор почвенных образцов проводился следующим образом: из пахотного слоя – тростевым буром в радиусе 5 м от разреза; из нижележащих горизонтов – почвенным ножом в пяти точках по стенке ямы из центральной части оцениваемого генетического горизонта. Физические, физико-химические и агрохимические свойства почвы устанавливались в испытательных лабораториях АФИ и Меньковского филиала по стандартизированным методикам: гранулометрический состав – седиментометрическим методом по Качинскому, полевая влажность – гравиметрически после сушки при температуре 105 °С, объём-

ная масса почвы (перед посевом и перед уборкой урожая) – гравиметрически с использованием почвенного бура Качинского, удельная масса почвы - пикнометрически; наименьшая влагоёмкость – методом заливки пробных площадок, структурное состояние методом сухого рассева по Саввинову и мокрого рассева на приборе Бакшеева (Вадюнина, 1986),  $pH_{KCl}$  – потенциометрическим методом, обменную кислотность и подвижный алюминий – по Соколову, гидролитическую кислотность – по Каппену, сумму обменных оснований – по Каппену-Гильковицу, гумус - по Тюрину, подвижные соединения фосфора и калия – по Кирсанову. Агрофизические свойства определяли из почвенных образцов или непосредственно в полевых условиях.

Фенологические наблюдения проводили по фазам развития растений. Биометрические наблюдения – в динамике через каждые 20 дней после появления массовых всходов. Учет засоренности и пораженности вредителями и болезнями проводили по фазам вегетации или по мере их появления.

Учет урожайности основной и побочной продукции по всем культурам проводили сплошным весовым методом. Анализ по элементам структуры урожая на зерновых культурах выполнен из пробных снопов. Учет ботанического состава травостоя многолетних и однолетних выполнялся в процессе их уборки на зелёную массу или сено. Основные результаты исследований обрабатывали методом дисперсионного анализа в программе «Stat». Данные аналитических исследований почвенных образцов представлены в форме среднего значения и доверительного интервала к нему в виде удвоенного стандартного отклонения от среднего значения (Минеев и др., 2001).

## 2.4 Агротехнические условия проведения исследований

Одним из важных методологических требований при проведении полевых опытов является обеспечение высокого уровня культуры земледелия, то есть качественного выполнения всех агротехнических требований (Семёнов, 2004; Доспехов, 2012; Иванова и др., 2017).

Система обработки почв в обоих севооборотах базировалась на отвальной основной обработке (зяблевой вспашке) и сплошных предпосевных обработках на оптимальную глубину (22-23 и 10-15 см соответственно). Органические удобрения вносились под весеннюю перепашку зяби. На пропашных культурах выполнялась также серия междурядных обработок почвы, сочетаемая с мероприятиями химической защиты растений

Посев и посадка культур осуществлялись в оптимальные сроки семенным материалом высших репродукций, относящихся к I-II классу посевной годности с использованием стандартного технологического оборудования: комбинированных посевных агрегатов и сеялок.

Система защиты растений строилась на сочетании механических и химических мероприятий в соответствии с установленными агротехническими требованиями и условиями эффективного применения. Так, разрешённые к применению гербициды использовались на всех культурах, кроме многолетних, однолетних трав и озимой ржи. Фунгициды применялись при обработке семенного и посадочного материала, а также в борьбе с болезнями картофеля – фитофторозом и альтернариозом (до 3-х обработок).

Инсектициды использовались только в случае потенциально опасного развития вредителей: колорадского жука на картофеле, крестоцветных блошек, капустной мухи и капустной белянки на капусте белокочанной, минирующей мухи на свёкле столовой, видов тли на зерновых культурах.

Уборка урожая в опытах проводилась в состоянии полной или технологической спелости в оптимальные для возделываемых сортов и гибридов сроки. Зерновые, картофель и многолетние травы при этом убирались при помощи стандартного технологического оборудования, а овощные культуры – вручную.

## 2.5 Погодно-климатические условия в годы проведения опыта

Климат – определяющий фактор существования всего живого на Земле. Условия тепло- и влагообеспеченности контролируют все ростовые процессы в растениях, а также комплекс внутрипочвенных преобразований (Усков, 1985; 1998), определяющих практически все аспекты планирования и реализации систем земледелия и применения удобрений (Сапожников, Корнилов, 1969; 1977; Ефимов, Донских, Сеницын, 1984; Ефимов, Донских, Царенко, 2002; Иванов, Иванова, Иванов, 2002; Усков и др., 2004; Иванов, Иванов, 2006; Архипов и др., 2015, 2016, 2018). Происходящие в настоящее время климатические изменения применительно к Северо-Западному региону России усиливают риски неблагоприятных погодно-климатических аномалий (Иванов, Кирюшин, 2009; Усков, 2014; Иванов, Конашенков, 2018). Это, в свою очередь, обостряет актуальность научного поиска в области агротехнологической адаптации регионального земледелия к таким неблагоприятным изменениям (Янко, Иванов, 2019).

Метеорологические данные, полученные на метеопосту Меньковского филиала АФИ, расположенном в непосредственной близости к территории опыта, в целом подтверждают описанные выше региональные особенности погодно-климатических условий (табл. 10).

Во-первых, теплообеспеченность практически всех вегетационных периодов, за исключением 2016 и 2017 годов, когда проявились продолжительные волны холода, была заметно выше средних многолетних показателей (рис. 3). В результате глобальных климатических изменений среднесуточная температура вегетационного периода в Меньковском филиале возросла от среднего многолетнего значения в 12,9 до 14,5 °С. Это вызвало увеличение суммы активных температур почти на 230 °С, а биоклиматического потенциала – на 12 %.

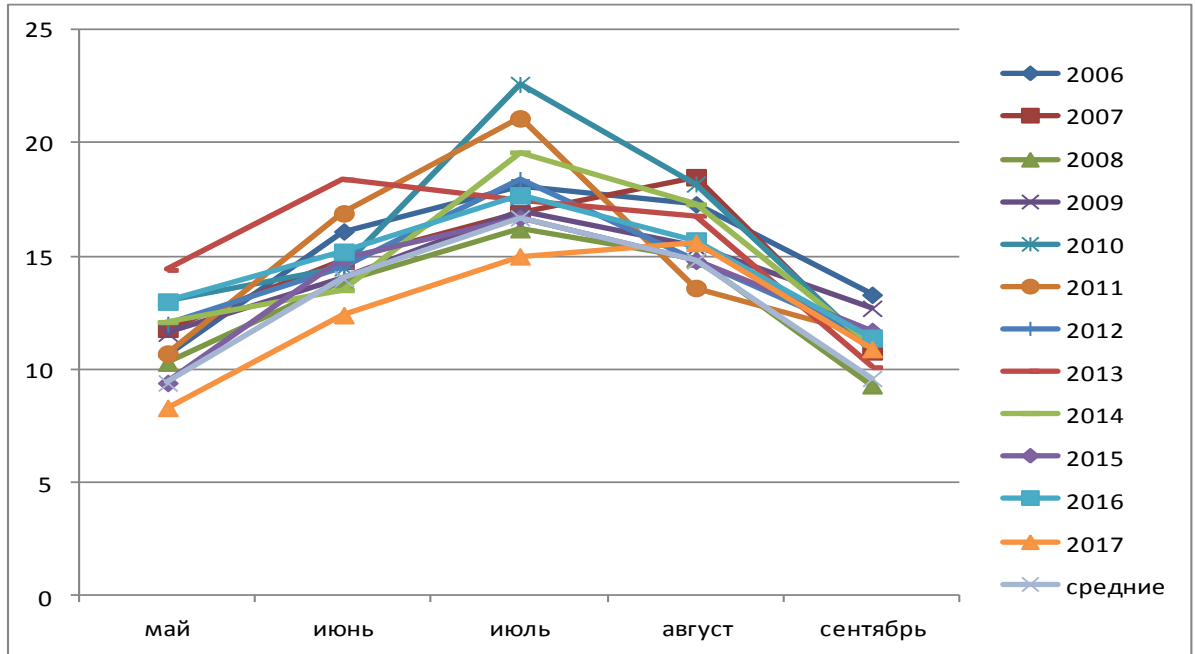


Рисунок 3 – Динамика среднесуточной температуры воздуха (°C) в годы исследований

Во-вторых, вопреки ожиданиям последствий климатических изменений в форме возрастания гумидности климата за счёт увеличения доли зимних осадков, процесс идёт за счёт их летней составляющей (рис 4).

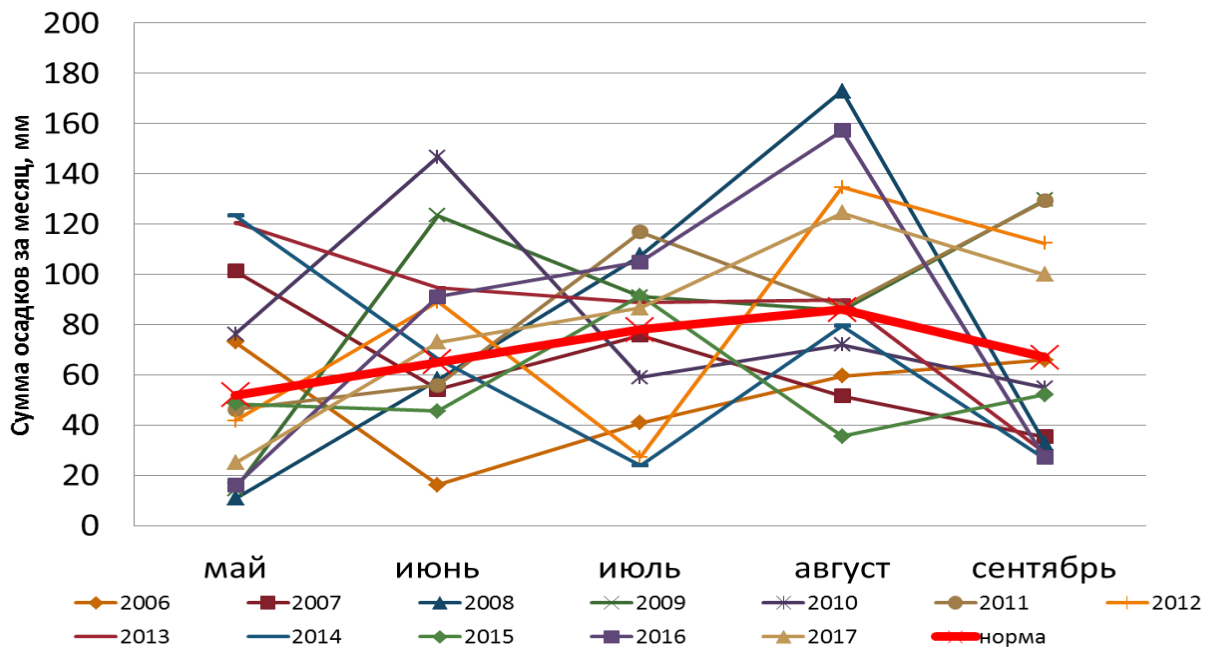


Рисунок 4 – Динамика месячной суммы осадков (мм) в годы исследований



Таблица 10 – Погодно-климатические условия по годам, декадам и месяцам вегетации  
(данные метеопоста «Меньково»)

Декада	Среднесуточная температура, сумма осадков и ГТК по месяцам																	
	май			июнь			июль			август			сентябрь			май - сентябрь		
	Т, °С	осадки, мм	ГТК	Т, °С	осадки, мм	ГТК	Т, °С	осадки, мм	ГТК	Т, °С	осадки, мм	ГТК	Т, °С	осадки, мм	ГТК	Тер., °С	осадки, мм	ГТК
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2006 год																		
1	11,9	0	0	11,4	36,1	3,2	21	0	0	16,7	10,7	0,6	14,7	45,5	3,1	-	-	-
2	9,1	16,1	-	17,9	4,8	0,1	17,5	31,2	1,8	18,4	4,7	0,3	12,3	14,2	1,2	-	-	-
3	10,9	56,9	5,2	19,0	16,6	0,9	15,7	9,7	0,6	16,9	44,1	2,6	12,9	6,2	0,5	-	-	-
За месяц	10,6	73	2,2	16,1	57,5	1,2	18,1	40,9	0,7	17,3	59,5	1,1	13,3	65,9	1,7	15,08	296,8	1,3
2007 год																		
1	5,8	35,8	6,2	15	5,8	0,4	17,2	34,3	2,0	19,3	0	0	10,1	19,1	1,9	-	-	-
2	12,3	5,6	0,5	14,9	27,4	1,8	17,1	20,3	1,2	20,7	4,6	0,2	9,5	15,7	-	-	-	-
3	17,2	59,9	3,5	13,9	21	1,5	16,5	21,1	1,3	15,4	47	3,1	13,2	0,5	0	-	-	-
За месяц	11,8	101,3	2,8	14,6	54,2	1,2	16,9	75,8	1,4	18,5	51,6	0,9	10,9	35,3	1,1	14,54	318,2	1,4
2008 год																		
1	11,5	0,4	0	12,9	6,5	0,5	15,3	11,4	0,7	13,2	22,8	1,7	12,5	32,7	2,6	-	-	-
2	9,7	10,3	-	14,1	29,8	2,1	17,3	79,9	4,6	18,1	58,6	3,2	6,8	0	-	-	-	-
3	11,1	0,2	0	14,8	21,9	1,5	16,1	16,3	1,0	13,3	91,5	6,9	8,7	0	-	-	-	-
За месяц	10,8	10,9	0,3	13,9	58,2	1,4	16,2	107,6	2,1	14,9	172,9	3,7	9,3	32,7	1,2	13,02	382,3	1,9
2009 год																		
1	11,3	3,1	0,3	11,4	53,9	4,7	14,5	20,7	1,4	16,4	17,1	1,0	15,8	85,9	5,4	-	-	-
2	8,9	8	-	14,3	30,8	2,2	18,5	48,4	2,6	14,8	41,4	2,8	11,9	11,8	1,0	-	-	-

Продолжение табл. 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
3	14,8	3,4	0,2	16,5	38,7	2,3	18,0	22,1	1,2	15,0	27,3	1,8	10,3	31,9	3,1	-	-	-
За месяц	11,7	14,5	0,4	14,1	123,4	2,9	17,0	91,2	1,7	15,4	85,8	1,8	12,7	129,6	3,4	14,18	444,5	2,0
2010 год																		
1	8,9	29,9	-	12,7	32,6	2,6	20,6	29,7	1,4	22,9	11,8	0,5	11,2	38,9	3,5	-	-	-
2	17,9	0	0	14,1	25	1,8	23,3	15,1	0,6	18,5	2,4	0,1	11,9	14,8	1,2	-	-	-
3	12,2	46,4	3,8	16,7	89,1	5,3	24,0	14,2	0,6	13,2	57,8	4,4	9,5	1,1	-	-	-	-
За месяц	13,0	76,3	1,9	14,5	146,7	3,4	22,6	59	0,8	18,2	72	1,3	10,9	54,8	1,7	15,84	408,8	1,7
2011 год																		
1	6,9	4,4	-	18,7	0	0	21,3	0,6	0	16,5	3,2	0,2	12,8	64,7	5,1	-	-	-
2	12	16,9	1,4	15,2	40,8	2,7	19,6	39	2,0	16,5	67,2	4,1	12,0	35,9	3,0	-	-	-
3	13,2	24,9	1,9	16,7	15,1	0,9	22,3	77,3	3,5	15,9	16,7	1,1	10,6	28,7	2,7	-	-	-
За месяц	10,7	46,2	1,4	16,9	55,9	1,1	21,1	116,9	1,8	16,3	87,1	1,7	11,8	129,3	3,7	15,36	435,4	1,9
2012 год																		
1	9,7	1,6	-	12,5	4,5	0,4	19,6	4,4	0,2	16,2	52,8	3,3	11,4	65,4	5,7	-	-	-
2	13,4	14,9	1,1	16,2	55,7	3,4	16,2	8,8	0,5	14,8	22,1	1,5	13,7	5	0,4	-	-	-
3	12,9	25,3	2,0	14,5	28,8	2,0	19,5	14,0	0,7	13,5	59,8	4,4	10,2	41,9	4,1	-	-	-
За месяц	12,0	41,8	1,1	14,4	89,0	2,1	18,4	27,2	0,5	14,8	134,7	2,9	11,8	112,3	3,2	14,28	405,0	1,9
2013 год																		
1	11,7	3	0,3	19,1	44,2	2,3	18,6	27,5	1,5	19,7	32,9	1,7	12,9	4,2	0,3	-	-	-
2	15,6	86,1	5,5	15,4	38,9	2,5	16,8	31,1	1,9	16,4	27,7	1,7	12,0	0	0	-	-	-
3	15,8	31,4	2,0	20,6	11,5	0,6	17,0	30,2	1,8	14,2	29,2	2,1	6,7	25,0	3,7	-	-	-
За месяц	14,4	120,5	2,7	18,4	94,6	1,7	17,5	88,8	1,6	16,8	89,8	1,7	10,5	29,2	0,9	15,52	422,9	1,8

Продолжение табл. 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2014 год																		
1	6,0	61	-	17,3	21,5	1,2	16,8	9	0,5	21,7	5,9	0,3	13,8	1,2	0,1	-	-	-
2	13,8	20,7	1,5	11,9	21	1,8	19,6	4,7	0,2	17,2	32,4	1,9	12,4	2,3	0,2	-	-	-
3	16,5	41,7	2,5	11,4	23,7	2,1	22,3	10,2	0,5	12,9	41,3	3,2	9,8	23	-	-	-	-
За месяц	12,1	123,4	3,3	13,5	66,2	1,6	19,6	23,9	0,4	17,3	79,6	1,5	12,0	26,5	0,7	14,9	319,6	1,4
2015 год																		
1	9,8	13,9	-	14,0	10,3	0,7	16,9	19,1	1,1	17,6	5,4	0,3	12,1	16	1,3	-	-	-
2	9,4	8,7	-	14,6	0,5	0	13,6	35,6	2,6	14,5	21,5	1,5	12,9	1	0,1	-	-	-
3	12,9	25,9	2,0	16,2	34,8	2,1	16,1	36,7	2,3	16,2	8,6	0,5	11,0	35,1	3,2	-	-	-
За месяц	10,7	48,5	1,5	14,9	45,6	1,0	15,5	91,4	1,9	16,1	35,5	0,7	12,0	52,1	1,4	13,84	273,1	1,3
2016 год																		
1	13,1	0	0	12,2	16,4	1,3	16,3	49,9	3,1	16,9	51,8	3,1	13,7	4,8	0,4	-	-	-
2	11,4	1,0	0,1	15,4	43,0	2,8	17,2	33,5	1,9	14,9	77,8	5,2	11,4	1,0	0,1	-	-	-
3	14,9	15,0	1,0	18,5	31,7	1,7	17,8	21,5	1,2	15,7	27,6	1,8	9,7	21,2	2,2	-	-	-
За месяц	13,1	16,0	0,4	15,4	91,1	2,0	17,1	104,9	2,0	15,8	157,2	3,2	11,6	27,0	0,8	14,6	396,2	1,8
2017 год																		
1	5,2	0	-	10,8	23,3	2,2	14,2	16	1,1	17	15,3	0,9	11,8	31,6	2,7	-	-	-
2	8,8	1,6	-	14,9	16,3	1,1	15,4	34,6	2,2	18,1	10,7	0,6	12,3	68,3	5,6	-	-	-
3	11,8	23,3	2,0	12,9	33,4	2,6	17,1	36,1	2,1	13,6	98,4	7,2	9,6	0	-	-	-	-
За месяц	8,6	24,9	-	12,9	73	1,9	15,6	86,7	1,8	16,2	124,4	2,5	11,2	99,9	3,0	12,9	408,9	2,1
Среднее за 2006-2017гг	11,6	58,1	1,6	15,0	79,6	1,8	18,0	76,2	1,4	16,5	95,8	1,9	11,5	71,7	2,1	14,5	381,4	1,7
Среднее многол.	9,4	52	-	14	65	1,5	16,7	78	1,6	14,8	86	1,9	9,6	67	-	12,9	348	1,8

Сумма осадков за вегетационный период увеличилась со среднего многолетнего значения в 348 мм до 381 мм, т.е. на 33 мм или 9 %. В сочетании с ускоренными темпами роста теплообеспеченности это вызвало слабовыраженную тенденцию к снижению гидротермического коэффициента (по Г.Т. Селянинову) (с 1,8 до 1,7 ед.).

В-третьих, погода в годы исследований носила особенно неустойчивый характер. Вариабельность (коэффициент вариации) подекадного гидротермического коэффициента находилась в пределах 71-108 %, и даже среднемесячного – 21-67 %, при их средних параметрах за годы наблюдений в 84 и 47 % соответственно (рис. 5). Коэффициент вариации среднемесячных значений ГТК в период вегетации увеличился с 10 % по средним многолетним данным до 13 % по средним данным за период наблюдений (2006-2017 гг.), т.е. на 30 % отн.

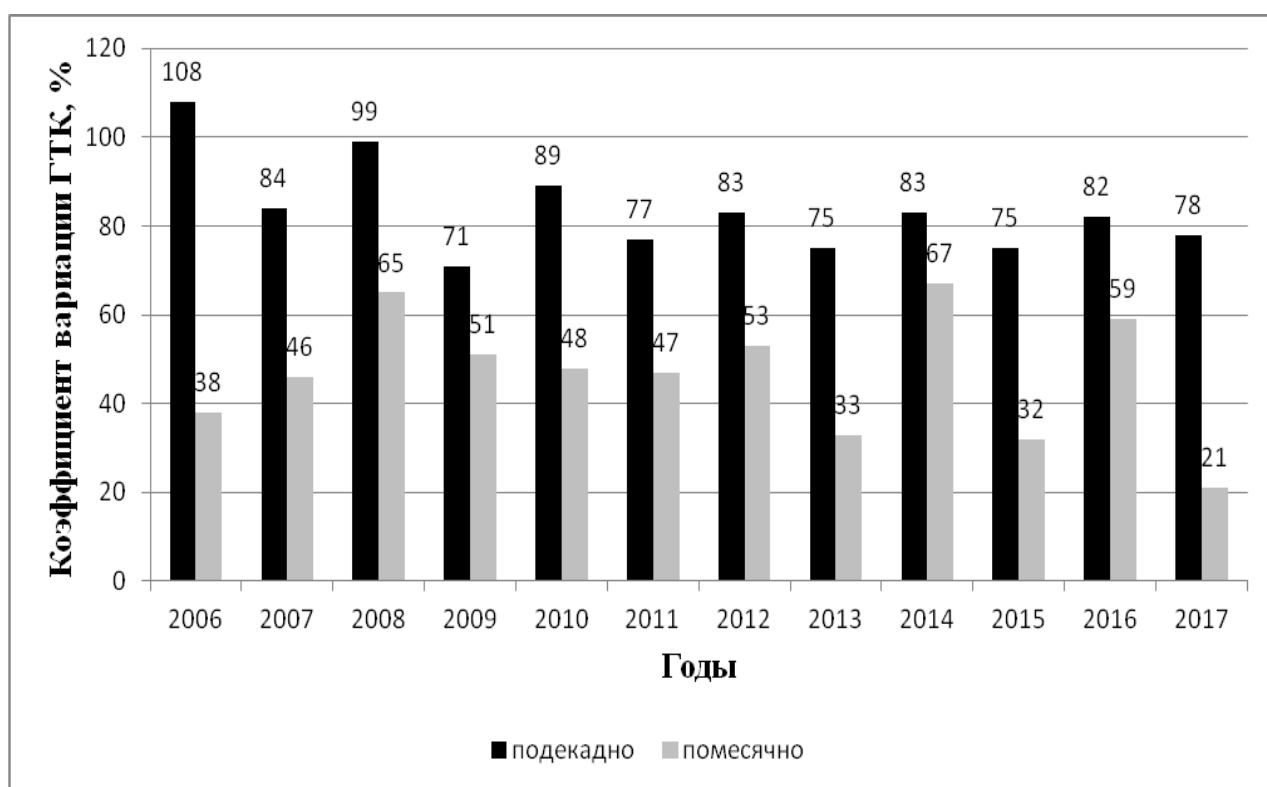


Рисунок 5 – Вариабельность гидротермического коэффициента (ГТК) за период вегетации

Отчасти благодаря такой временной неоднородности критических последствий острозасушливых условий середины вегетации в 2010 и 2011 годах удалось избежать. В эти годы периодам острой засухи предшествовали условия выраженного переувлажнения почвы с гидротермическим коэффициентом превышающим 2 ед.

И всё же, принимая во внимание весь объём полученной в опытах информации, можно констатировать, что наиболее негативные последствия для развития культур (капусты белокочанной, картофеля, ячменя и однолетних трав) имело неблагоприятное сочетание продолжительных волн холода в начале вегетации в 2016 и 2017 годах с резким переувлажнением в период созревания и уборки урожая. Избыточное выпадение осадков (табл., 10; рис. 3) способствовало усилению поражения картофеля фитофторозом (Иванова и др., 2019), не позволило реализовать продукционный потенциал культур в наиболее удобренных вариантах, так как уборка вынужденно велась в более ранние сроки.

Несмотря на характерную неустойчивость погоды, лучшие условия теплообеспеченности в годы исследований оказали положительное влияние на формирование урожая полевых и овощных культур. Отдача же от окультуривания почвы и применения удобрений во многом зависела от их соответствия биологическим особенностям культур.

### 3 ВЛИЯНИЕ СРЕДСТВ ВОСПРОИЗВОДСТВА ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ НА СОСТОЯНИЕ И СВОЙСТВА ПОЧВЫ

Данные и научных исследований и реального сельскохозяйственного производства свидетельствуют, что окультуренные многолетним трудом земледельцев дерново-подзолистые почвы довольно быстро деградируют в случае отсутствия соответствующего антропогенного воздействия (Ефимов, Иванов, 2001; Литвинович, 2011; Иванов, Воробьёв, Иванова, 2015; Шафран, 2016; Сычёв, 2019). Сегодня остро встаёт вопрос о повторном окультуривании таких почв. Но, если трансформация почвообразовательного процесса в дерново-подзолистой почве через стадии: «целинная освоенная → освоенная → слабоокультуренная → среднеокультуренная → хорошо окультуренная → высокоокультуренная почва» является достаточно изученной (Францессон, 1934; Гаркуша, 1956; Благовидов, 1954, 1962; Коновалова, 1967; Левин, 1972; Сапожников, Корнилов, 1977; Караваева, Жариков, 1998; Муха, 2004 и др.), то относительно повторно окультуриваемых почв информации крайне мало. А именно к таким почвам принадлежит и объект нашего исследования, и значительная часть сельскохозяйственного почвенного фонда Северо-Запада России.

#### 3.1 Трансформация строения почвенного профиля и его морфологических свойств

Из описания почвенного разреза (разд. 2.2.1), заложенного перед началом окультуривающих мероприятий в 2003 г., следует, что дерново-слабоподзолистая почва опыта сформирована на двучленном отложении – маломощной суглинистой морене, лежащей на озёрно-ледниковом песке.

Анализ данных серии почвенных разрезов, заложенных по истечении первой ротации шестипольных севооборотов, показал, что основным фактором трансформации морфологических свойств почвы, выступило интенсив-

ное (220 т/га) и гиперинтенсивное (540 т/га) применение органических удобрений (прил. А). Влияние возделываемых культур, системы обработки почвы под них и применения минеральных удобрений имело второстепенное значение, достоверные эффекты от которого установить к этому времени (2011 г.) не удалось.

Выраженные изменения, вполне ожидаемо, затронули строение верхней части почвенного профиля (рис. 6). За счёт увеличения содержания перегнойных (гумусовых) веществ цвет пахотного слоя существенно потемнел у хорошо- и, тем более, высоко окультуренного вида. Непрочная комковато-порошистая структура преобразовалась в агрономически более ценную комковато-ореховатую и комковато-зернистую форму. Это произошло за счёт склеивания механических частиц тончайшими плёнками уравновешенных кальцием органических и органо-минеральных коллоидов (Качинский, 1933; Кононова, 1951, 1963; Коротков, 1970, 1972; Кауричев, Орлов, 1982).

Под действием подвижных продуктов разложения органического вещества навоза произошло:

- увеличение мощности, а, соответственно, и опускание нижней границы аккумулятивно-элювиального горизонта  $A_1A_2$  и переходного элювиально-иллювиального  $A_2B$  в хорошо- и высоко окультуренной почвах обоих севооборотов на 3-5 и 2-4 см соответственно. В совокупности это привело к наращиванию за счёт иллювиального горизонта аккумулятивно-элювиальной толщи с 43-48 см в средне окультуренной почве, до 46-50 см – в хорошо окультуренной и 52-55 – в высоко окультуренной. При этом мощность обогащённого гумусом слоя ( $A_{пах} + A_1A_2$ ) увеличилась с 31-32 до 34-35 и 36-37 см соответственно;

- формирование грубогумусовых затёков органического вещества в горизонте  $A_2B$  в варианте с гиперинтенсивным применением органических удобрений;

Глубина, см	Полевой севооборот			Овощекормовой севооборот		
	Среднеокультуренная (Разрезы 1-3 П)	Хорошо окультуренная (Разрезы 4-6 П)	Высокоокультуренная (Разрез 7-9 П)	Среднеокультуренная (Разрез 1-3 ОК)	Хорошо окультуренная (Разрезы 4-6 ОК)	Высокоокультуренная (Разрезы 7-9 ОК)
10	<b>A<sub>пах</sub></b>	<b>A<sub>пах</sub></b>	<b>A<sub>пах</sub></b>	<b>A<sub>пах</sub></b>	<b>A<sub>пах</sub></b>	<b>A<sub>пах</sub></b>
20						
30	<b>A<sub>1</sub>A<sub>2</sub></b>	<b>A<sub>1</sub>A<sub>2</sub></b>	<b>A<sub>1</sub>A<sub>2</sub></b>	<b>A<sub>1</sub>A<sub>2</sub></b>	<b>A<sub>1</sub>A<sub>2</sub></b>	<b>A<sub>1</sub>A<sub>2</sub></b>
40	<b>A<sub>2</sub>B</b>	<b>A<sub>2</sub>B</b>	<b>A<sub>2</sub>B</b>	<b>A<sub>2</sub>B</b>	<b>A<sub>2</sub>B</b>	<b>A<sub>2</sub>B</b>
50						
60	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
70						
80					<b>B</b>	<b>B</b>
90	<b>BC</b>	<b>BC</b>	<b>BC</b>	<b>BC</b>	<b>BC</b>	<b>BC</b>
100						
110					<b>BC</b>	<b>BC</b>
120	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>
130						
140			<b>D</b>			<b>D</b>
150						

Рисунок 6 – Стрoение профиля почв полевого и овощекормового севооборотов в 2011 г.



- некоторое снижение плотности сложения аккумулятивно-элювиальной толщи и увеличение глубины проникновения корневых систем растений в почву;

- опускание в среднем на 8 см нижней границы иллювиального горизонта В: с 79 до 87 см в полевом и с 87 до 95 см – в овощекормовом севообороте.

Микроморфологическое исследование генетических горизонтов, выполненное С.В. Непримеровой (Непримерова, 2012, 2013), подтвердило усиление миграции органических веществ, особенно, в варианте высоко окультуренной почвы, где гумус типа модер буквально заполнял пористое пространство гумусового слоя и верхней части бывшего А<sub>2</sub>В горизонта. В варианте хорошо окультуренной почвы с внесением 220 т/га навоза процессы минерализации-гумификации шли более сбалансировано, вследствие чего, поверхность частиц покрывали гумусовые образования типа муль.

Кроме того, по причине резкой активизации биологического выветривания минералов в аккумулятивно-элювиальной толще изучаемых почв существенно сократилось по сравнению с 2006 годом содержание обогащённых калием слюд: мусковита и биотита (Непримерова, 2013).

По завершении второй ротации полевого и овощекормового севооборотов характер трансформации строения профиля дерново-подзолистой почвы практически не изменился. Однако теперь по мере увеличения продолжительности исследования, наряду с выраженным влиянием, вызванным интенсивным применением органических удобрений, проявились достоверные эффекты от уровня интенсивности севооборота, применения минеральной системы удобрения, а также отказа от применения всех видов удобрений в контрольном варианте (рис. 7, 8, прил. Б).

Так, на фоне резкого сокращения прихода исходных гумусообразователей в варианте абсолютного контроля, не удобрявшегося на протяжении более 15 лет произошло:

Глубина, см	Среднеокультуренная			Хорошо окультуренная			Высокоокультуренная		
	НРК 0 (Разрез 1 П)	НРК 1 (Разрез 2 П)	НРК 2 (Разрез 3 П)	НРК 0 (Разрез 4 П)	НРК 1 (Разрез 5 П)	НРК 2 (Разрез 6 П)	НРК 0 (Разрез 7 П)	НРК 1 (Разрез 8 П)	НРК 2 (Разрез 9 П)
10	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>
20									
30	A <sub>2</sub> B	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>
40		A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B					
50				A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B
60	B	B	B	Bg	B	B	B	B	B
70									
80									
90						BC			
100	BC	BC	BC	BC	BC		BC	BC	BC
110									
120					D	D			
130	D	D	D	D			D	D	
140									D
150									
160									

Рисунок 7 – Строение профиля почв полевого севооборота в 2018 г.

Глубина, см	Среднеокультуренная			Хорошо окультуренная			Высокоокультуренная		
	НПК 0 (Разрез 1 ОК)	НПК 1 (Разрез 2 ОК)	НПК 2 (Разрез 3 ОК)	НПК 0 (Разрез 4 ОК)	НПК 1 (Разрез 5 ОК)	НПК 2 (Разрез 6 ОК)	НПК 0 (Разрез 7 ОК)	НПК 1 (Разрез 8 ОК)	НПК 2 (Разрез 9 ОК)
10	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>
20	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>
30	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>
40	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B
50	B	B	B	B	B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B
60	B	B	B	B	B	A <sub>2</sub> B	B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B
70	B	B	B	B	B	B	B	B	B
80	B	B	B	B	B	B	B	B	B
90	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC
100	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC
110	BC	BC	BC	BC	BC	D	BC	BC	BC
120	D	D	D	D	D	D	BC	BC	BC
130	D	D	D	D	D	D	D	D	D
140	D	D	D	D	D	D	D	D	D
150	D	D	D	D	D	D	D	D	D
160	D	D	D	D	D	D	D	D	D

Рисунок 8 – Строение профиля почв овощекормового севооборота в 2018 г.

- исчезновение признаков аккумулятивно-элювиального горизонта  $A_1A_2$  и повышение нижней границы иллювиального горизонта В в полевом севообороте на 5 см;

- появление признаков элювирования в форме желтовато-палевых присыпок в пределах пахотного слоя в полевом севообороте.

По всей вероятности, в полевом севообороте, где 50 % структуры занимали однолетние и многолетние травы, оказался более выраженным аккумулятивный характер гумусообразования в пахотном слое и непосредственно прилегающем к нему 5-15 см слое, где концентрировалось до 90 % массы корневых систем трав. Этому способствовала более медленная в сравнении с органическими удобрениями деструкция органических остатков, равномерно размещённых в активном корнеобитаемом слое. На средне окультуренной почве это выразилось в постепенном сокращении мощности аккумулятивно-элювиального горизонта  $A_1A_2$  вплоть до его полной утраты в неудобряемом варианте. На интенсивно удобряемых органическими удобрениями хорошо и высокоокультуренных почвах, это привело к преобразованию переходного с признаками элювирования горизонта  $A_1A_2$  в аккумулятивный  $A_1$ . На этом фоне практически прекратилось (в сравнении с 2011 г.) дальнейшее опускание нижней границы элювиально-иллювиального горизонта.

В овощекормовом, а по сути, интенсивном зернопропашном севообороте, на фоне интенсивных механических обработок почвы процессы элювирования почвенного профиля развивались существенно более интенсивно, что привело к дальнейшему опусканию нижней границы элювиальной толщи с 46-52 до 55-59 см, главным образом за счёт увеличения мощности горизонта  $A_2B$ . При этом эффект усиления биологического выветривания и нисходящей миграции органических и минеральных компонентов под действием минеральных удобрений проявлялся даже более отчётливо.

Морфологические проявления от увеличения прихода в почву пожнивно-корневых остатков и усиления миграции под действием полного минерального удобрения выразились в:

- сохранении, хотя и в сокращённом на 2-3 см виде, аккумулятивно-элювиального горизонта  $A_1A_2$ , мощность которого зависела от дозы удобрения и составила в варианте NPK1 7 см, а в NPK2 – 9-10 см;

- некотором улучшении структурного состояния почвы в полевом севообороте с комковато-порошистого до комковато-зернистого;

- опускании нижней границы переходного элювиально-иллювиального ( $A_2B$ ) и иллювиального (B) горизонтов на 7-10 и 7-8 см соответственно.

Наиболее интенсивно нисходящая миграция вследствие элювирования и лёсвивирования почвенных компонентов проявилась на хорошо- и высоко окультуренной почвах в удобренных полным минеральным удобрением вариантах, где средняя мощность горизонта  $A_1A_2$  увеличилась с 10 см в 2006 г. до 14 см – в 2011 г. и 19 см – в 2018 г, горизонта  $A_2B$  – с 11 см в 2006 г. до 13 см – в 2011 г. и 23 см – в 2018 г. В результате усиления миграции вещества под действием антропогенных и природных факторов в интенсивно удобряемых вариантах активным почвообразовательным процессом оказалась охвачена практически вся толща морены.

Таким образом, в условиях длительного 12-летнего эксперимента установлен характер и основные закономерности изменения морфологических свойств легкой дерново-подзолистой почвы под действием таких факторов и средств воспроизводства почвенного плодородия, как степень интенсивности полевого севооборота, интенсивное и гиперинтенсивное применение органических удобрений, средних и повышенных доз – минеральных удобрений. Даже на фоне поддерживающего известкования и интенсивного применения органических и минеральных удобрений почвообразовательный процесс, резко усилившись, сохранил свои зональные особенности. Элювиально-иллювиальный процесс преобразования охватил практически всю толщу маломощного моренного отложения.

Снижение интенсивности севооборота за счёт посева однолетних и многолетних трав способствовало усилению аккумулятивного характера почвообразования вплоть до формирования у хорошо и высокоокультуренно-

го вида под пахотным слоем самостоятельного гумусового горизонта  $A_1$ . В интенсивном овощекормовом севообороте аналогичные окультуривающие мероприятия усилили нисходящую миграцию вещества, особенно, в вариантах с полным минеральным удобрением, увеличив в среднем мощность горизонтов  $A_1A_2$  и  $A_2B$  в 1,9 и 2,1 раза.

Минеральная система удобрения, с одной стороны, способствовала увеличению прихода исходных гумусообразователей, что позволило сохранить исходное строение почвенного профиля средне окультуренной почвы. С другой стороны, усилило выветривание минералов и вертикальную миграцию вещества, что привело к увеличению в среднем по двум севооборотам мощности горизонта  $A_1A_2$  в вариантах  $НПК1$  и  $НПК2$  с 9 до 11 и 12 см, а горизонта  $A_2B$  – с 12 до 14 и 18 см соответственно. Интенсивность формирования горизонта  $A_2B$  под действием гиперинтенсивного применения органических и полного минерального удобрения, оцениваемая увеличением его мощности, оказалась в овощекормовом севообороте 3,3 раза выше, чем в полеводстве.

### 3.2 Изменение агрофизического состояния почвы под действием систем воспроизводства почвенного плодородия

Физические кондиции почвы в разной мере определяют её способность удовлетворять культурные растения во всех факторах жизни (вода, воздух, минеральное и воздушное питание), в т. ч., в определённой степени, даже космических (например, аккумулируемое почвой тепло).

#### 3.2.1 Гранулометрический состав почвы в условиях эксперимента

Одним из фундаментальных физических свойств почвы как природно-антропогенного тела является её гранулометрический состав, во многом предопределяющий характер почвообразования, миграции вещества, формирования водно-воздушных свойств и питательного режима.

Исходная средне окультуренная почва опыта в пределах пахотного слоя относилась к разновидности крупнопылевато-мелкопесчаной связной супеси (табл. 5). Как известно, гранулометрический состав относится к числу наиболее консервативных свойств почвы (Качинский, 1933; Ревут, 1964; Иванов и др., 2014). Однако, под действием интенсивного окультуривания (применения высоких доз органических удобрений) и изменения миграционных потоков вещества он всё же способен видоизменяться (Конашенков, 2014; Иванова, Иванов, 2018).

Убедительным подтверждением этого стали данные седиментационного анализа почвенных образцов в опыте уже по завершении первой ротации севооборотов (прил. В). Его результаты демонстрируют свойственный зональному типу почвообразования элювиально-иллювиальный характер перераспределения илистых частиц и фракции физической глины между генетическими горизонтами почвы (рис 9.).

Поскольку продолжительность опыта к моменту проведения анализа в 2011 году составляла всего 6 лет, выраженного действия минеральной системы удобрения не обнаруживалось. Достоверные эффекты здесь были связаны с действием двух факторов: окультуривающего действия органических удобрений и известки, а также интенсивности севооборота. Среднее содержание физической глины в аккумулятивном слое ( $A_{пах} + A_1A_2$ ) в средне, хорошо и высоко окультуренной почвах составило 15,3, 18,0 и 18,5 % соответственно. То есть, за счёт интенсивного и гиперинтенсивного применения мелиорантов в самом активном слое почвы удалось повысить содержание физической глины на 18 и 21 % (отн.) соответственно. Эти изменения происходили, главным образом, за счёт накопления фракции мелкой пыли (до 2 раз в отдельных горизонтах). В фракциях физического песка при этом наибольшие потери от активизации выветривания пришлись на фракцию мелкого песка, представленного в основном кварцем и полевыми шпатами.

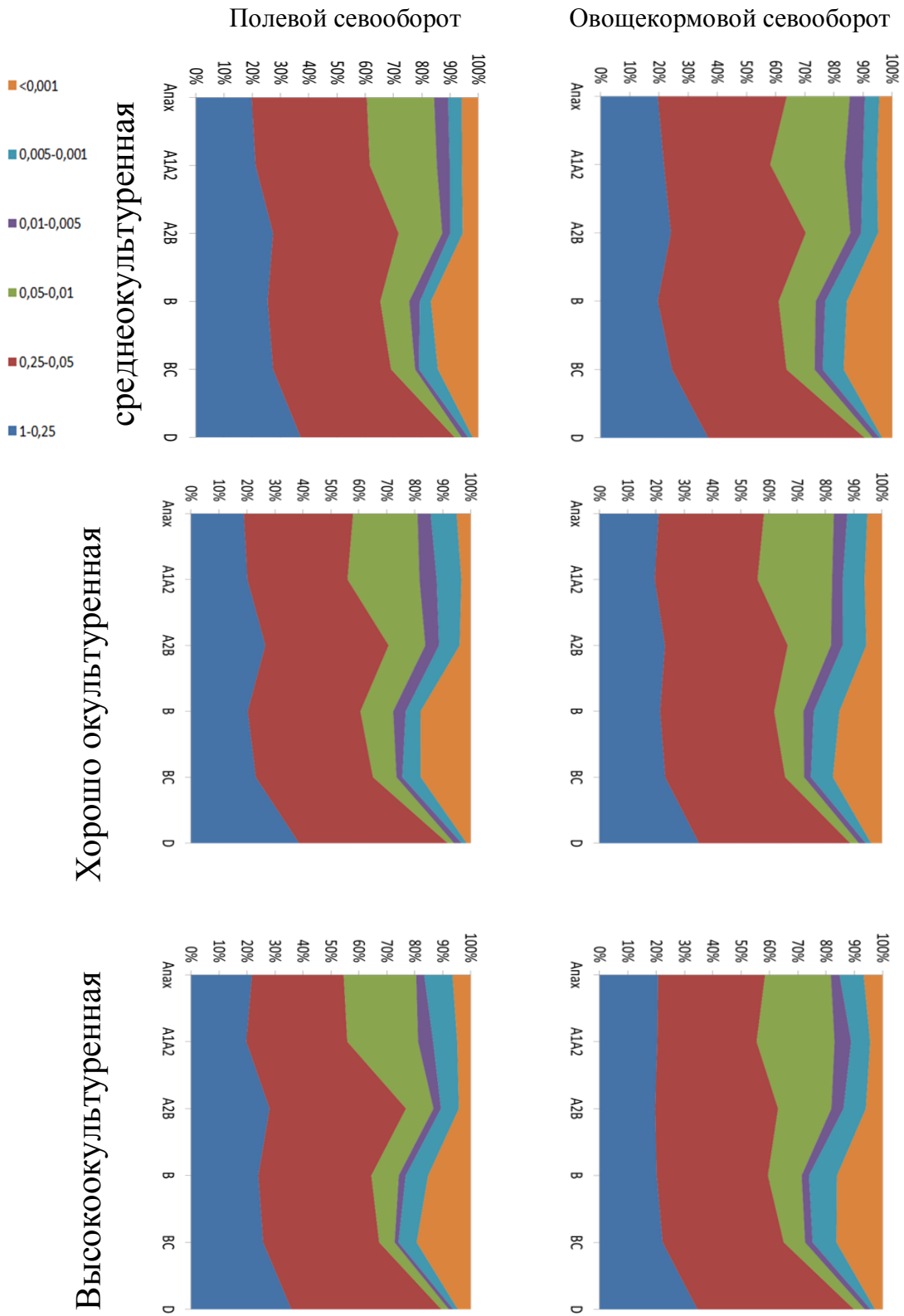


Рисунок 9 – Распределение гранулометрических фракций (мм) в профиле почв севооборотов после первой ротации (2011 г.)



В овощекормовом севообороте, где система обработки почвы была существенно интенсивнее, а условия для минерализации органического вещества лучше, в гумусовом слое аккумулятировалось в среднем 16,8 % фракций физической глины, или на 5 % (отн.) меньше, чем в полевом (17,7 %).

Продукты выветривания и лессивирования осаждались преимущественно в горизонтах В и ВС, где содержание физической глины по мере окультуривания почвы возросло в среднем с 24,9 до 27,2-27,4 %. Это значит, что степень интенсификации миграционных процессов при расширенном воспроизводстве плодородия дерново-подзолистой почвы такова, что затрагивает не только верхнюю аккумулятивно-элювиальную толщу, но и весь почвенный профиль.

Через 12 лет после начала эксперимента отмеченные ранее закономерности приобрели выраженный и устойчивый характер (прил. 4,5; рис. 10,11). Основные особенности здесь связаны с невозможностью в условиях ограничения применения органических удобрений сохранить устойчивое положение илистой и мелкопылеватой фракции в окультуренных почвах, а так же с проявлением выраженного элювирующего эффекта от применения минеральных удобрений.

При оценке обеспеченности глинистыми частицами аккумулятивно-элювиальной толщи было установлено, что в полевом севообороте за счёт снижения интенсивности биологического выветривания под посевами трав удалось во многом сохранить запас физической глины, хотя полностью предотвратить его потери в условиях промывного водного режима, тем более, при возросшей гумидности климата, оказалось невозможным (рис. 12).

В овощекормовом севообороте, где велась интенсивная обработка почвы и условия для деструкции органического вещества и минералов были существенно лучше, чем в полевом, аккумулятивно-элювиальный слой лишился 1,6 % физической глины. Применительно к пахотному слою эти потери составили около 50 т/га, что весьма критично с условием понимания роли этой фракции в формировании эффективного плодородия почвы.

## Полевой севооборот

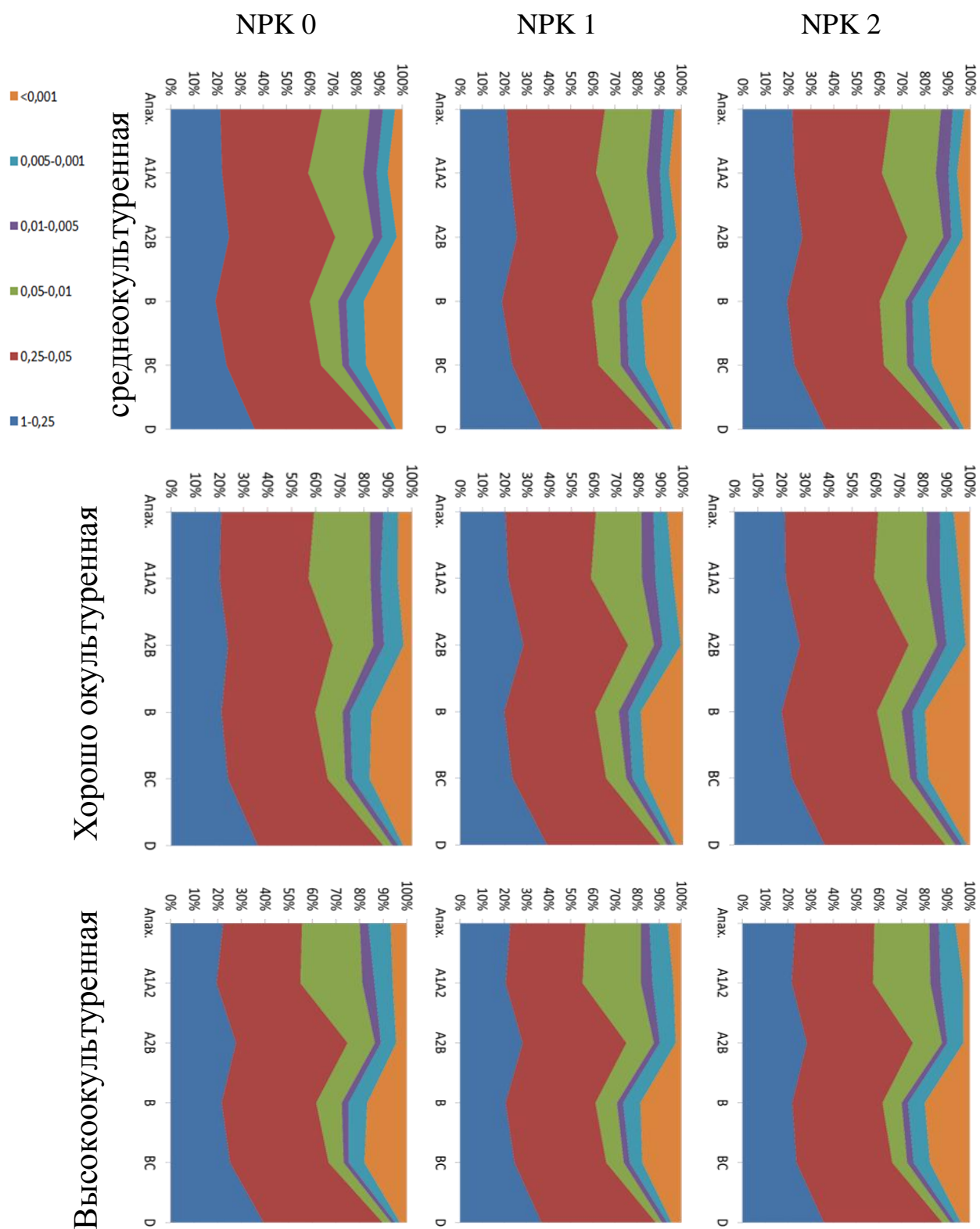


Рисунок 10 – Распределение гранулометрических фракций (мм) в профиле почв полевого севооборота после второй ротации (2018 г.)

## Овощекормовой севооборот

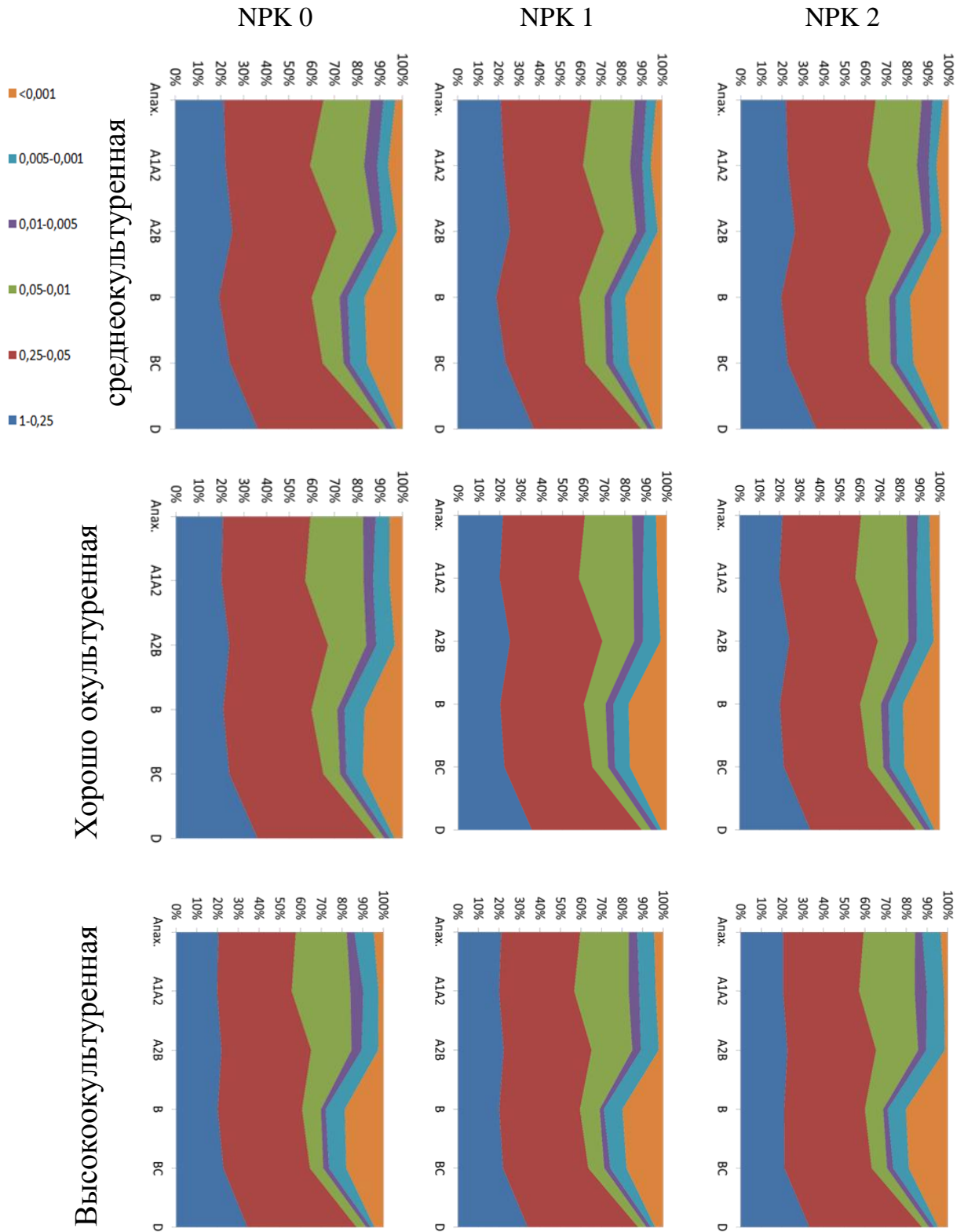


Рисунок 11 – Распределение гранулометрических фракций (мм) в профиле почв овощекормового севооборота после второй ротации (2018 г.)

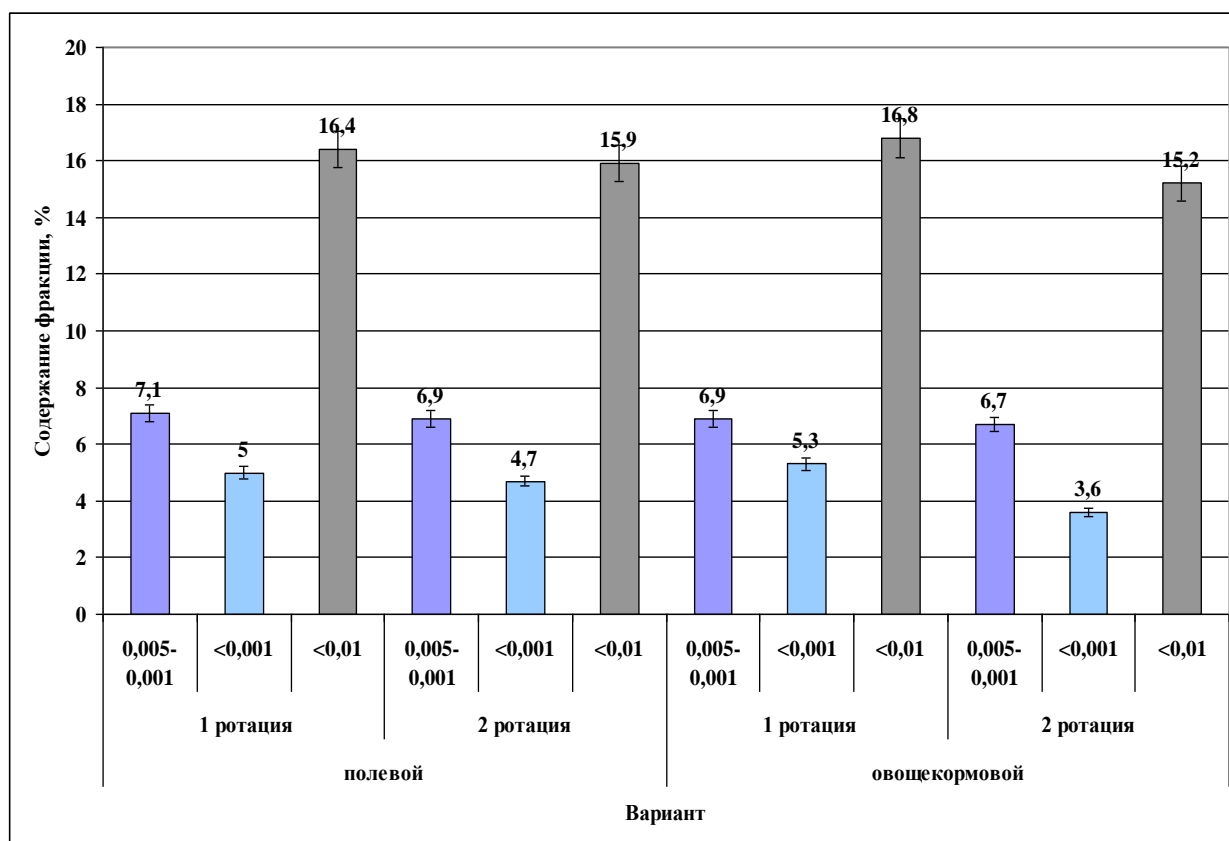


Рисунок 12 – Изменение содержания гранулометрических фракций (мм) в аккумулятивно-элювиальном слое ( $A_{пах.} + A_1A_2 + A_2B$ ) под действием севооборота

Фактические темпы обезиливания аккумулятивно-элювиального слоя достигли в среднегодовом выражении 0,05 в полевом и 0,28 % - в овощекормовом севообороте. То есть, повышение интенсивности обработки почвы усилило негативный миграционный процесс в 5,7 раза.

Прямым следствием этого процесса стало переотложение элювируемых и лессивируемых компонентов в иллювиальном горизонте. Это привело к увеличению коэффициента иллювиальности илистой и глинистой фракции с 3,0 и 1,6 в полевом севообороте до 4,8 и 1,9 ед. – в овощекормовом севообороте, т.е. в 1,6 и 1,2 раза соответственно.

Интенсивные и гиперинтенсивные окультуривающие мероприятия на стадии закладки полевого опыта настолько сильно изменили статус глини-

стой фракции, что сохранить его внесенными за 12 лет 75 и 150 т/га органических удобрений оказалось невозможным (рис. 13). Темпы обезиливания,

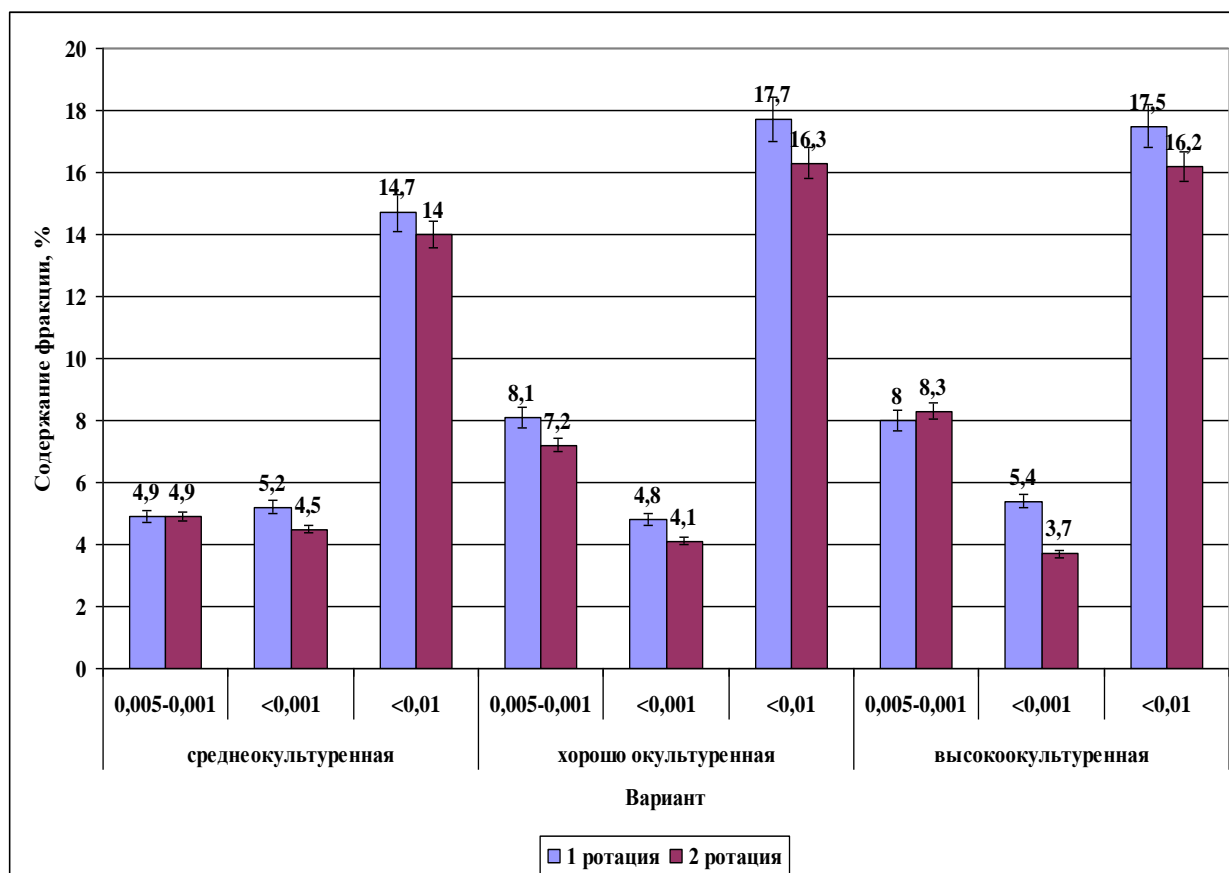


Рисунок 13 – Изменение содержания гранулометрических фракций (мм) в аккумулятивно-элювиальном слое (Апах.+А<sub>1</sub>А<sub>2</sub>+А<sub>2</sub>В) под действием окультуривания

вполне ожидаемо, достигли максимальных значений у высоко окультуренного вида почвы. И, если у средне и хорошо окультуренной почвы они составили 0,12 %, то у высоко окультуренной – 0,45 % в год, т.е. оказались в 3,8 раза выше. При этом коэффициент иллювиальности по фракции физической глины у средне-, хорошо- и высоко окультуренной почв достиг значения 1,5, 1,7 и 1,8 ед. соответственно. Напротив, аналогичный коэффициент по илистой фракции имел выраженную тенденцию на снижение с 4,8 у слабоокультуренной почвы до 4,2 и 3,8 ед. – у хорошо- и высоко окультуренной. Очевидно, это связано с тем, что на фоне резкого усиления миграции илистого

компонента у последних видов он отлагался не только в горизонте В, но и в ВС.

Влияние минеральной системы удобрения на лессивирование и элювирование верхней почвенной толщи также носило негативный характер (рис. 14). Вероятно, это связано с их способностью усиливать минерализацию

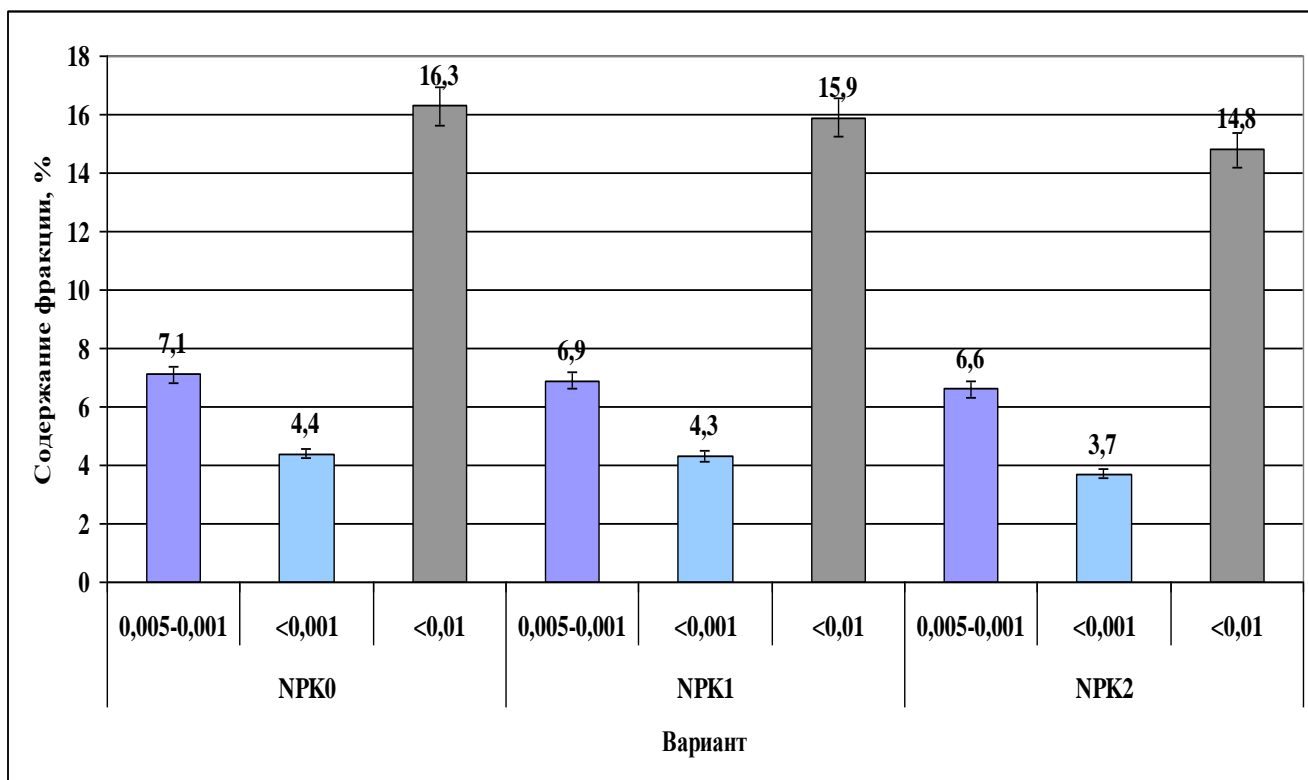


Рисунок 14 – Изменение содержания гранулометрических фракций (мм) в аккумулятивно-элювиальном слое (Апах.+А<sub>1</sub>А<sub>2</sub>+А<sub>2</sub>В) под действием минеральной системы удобрения

органического вещества, мобилизовать калий и кальций из минералов, выветривая их. Если в варианте NPK1 темпы обезиливания аккумулятивно-элювиальной толщи могут быть признаны в целом вполне безопасными, особенно в полевом севообороте, то на фоне интенсивного применения минеральных удобрений они возрастали в разы. В результате к концу второй ротации по фону NPK2 содержание физической глины в аккумулятивно-элювиальном слое сократилось на 9% (отн.), ила – на 16% (отн.), мелкой пыли – на 7% (отн.).

Следствием усиления вертикальной миграции илистых частиц под действием минеральных удобрений стало увеличение коэффициента иллювиальности глинистой и илистой фракций с 1,6 и 3,2 в неудобряемом варианте до 1,8 и 3,8 – в NPK1 и 1,9 и 4,4 ед. – в NPK2.

Таким образом, на фоне искусственно созданной в эксперименте агро-технологической неоднородности, охватывающей практически всё разнообразие возможных в производственных условиях уровней интенсивности ведения земледелия, было установлено, что тип севооборота и средства воспроизводства почвенного плодородия (мелиоранты, органические и минеральные удобрения) оказывают выраженное влияние на интенсивность процессов выветривания минералов, трансформации органического вещества и процессы вертикальной миграции-осаждения. Внутрипочвенные преобразования на фоне любых систем воспроизводства почвенного плодородия продолжают сохранять естественные зональные черты аккумулятивно-элювиально-иллювиального перераспределения гранулометрических фракций.

По мере повышения интенсивности каждого из факторов до предельного значения увеличивается охватываемая этими процессами толща вплоть до всей мощности почвенного профиля. Интенсивность процесса обезиливания аккумулятивно-элювиального слоя на фоне ограниченного применения органических удобрений возрастает в ряду: средне окультуренная → хорошо окультуренная → высоко окультуренная почва в 3,8 раза, достигая предельного значения в 0,45% в год. Переход от классического полевого зернотравяного севооборота с 50% трав в структуре к интенсивному овощекормовому усилил негативный миграционный процесс в 5,7 раза, увеличив среднегодовые темпы обезиливания с 0,05 до 0,28%. Минеральные удобрения в средних дозах практически не влияли на перераспределение гранулометрических фракций по генетическим горизонтам почвы, а в повышенных дозах (NPK2) усилили, особенно в овощекормовом севообороте, утрату илистых частиц активным корнеобитаемым слоем на 16%.

Применительно только к пахотному слою в наиболее интенсивных вариантах опыта потери определяющих плодородие фракций физической глины достигли 50 т/га, что можно оценить как недопустимые с научных позиций последствия интенсификации земледелия.

### 3.2.2 Изменение общих физических и водно-физических свойств почвы под действием систем воспроизводства почвенного плодородия

Физические свойства почвы как гетерогенного твёрдого пористого тела определяют её способность удовлетворять потребности растений в тепле, воздухе, влаге и питательных веществах, выражаемых соответствующими почвенными режимами (Ревут, 1964; Глобус, 2000; Шеин и др., 2009). Большинство общих физических и водно-физических свойств почвы определяется гранулометрическим составом, структурным состоянием, содержанием и качеством органического вещества, кислотностью и, в определённой мере, системой обработки почвы в севообороте.

Несмотря на то, что физические свойства почвы относятся к числу наиболее консервативных и трудно поддающихся оптимизации под действием окультуривания, при внесении высоких доз органических удобрений и известковании и ранее удавалось добиться их заметного улучшения (Барановский, 1995; Байбеков и др., 2012; Фрейдкин и др., 2014; Иванова, Иванов, 2018). Это положение нашло подтверждение и в обсуждаемом эксперименте. Из изучаемых в опыте факторов воздействия на физические свойства именно окультуривание, опирающееся на внесение высоких доз органических удобрений и поддерживающее известкование оказало наиболее значимое влияние, тогда как интенсивность севооборота (табл. 11) и минеральная система удобрения – весьма посредственное (прил. Г).

В почвенных разрезах, заложенных по окончании первой и второй ротации севооборотов, подтверждена закономерность уплотнения или



Таблица 11 – Изменение общих физических и водно-физических свойств почвы в зависимости от типа севооборота (среднее по вариантам опыта)

Горизонт почвы	Свойство почвы, ед.изм.						
	$m_{об}$ , г/см <sup>3</sup>	$m_{уд.}$ , г/см <sup>3</sup>	V, %	МГ, %	ВУЗ, %	НВ, %	ДАВ, %
Полевой севооборот – первая ротация							
Апах.	1,25±0,01	2,57±0,02	51,3±0,4	4,8±0,2	7,3±0,3	26,1±0,6	19,3±0,4
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	1,42±0,02	2,60±0,03	45,2±0,3	4,3±0,3	2,4±0,4	21,9±0,8	19,5±0,3
А <sub>2</sub> В	1,52±0,03	2,66±0,03	43,0±0,3	3,0±0,2	4,6±0,3	16,3±0,8	11,7±0,3
В	1,64±0,02	2,58±0,03	36,2±0,2	5,9±0,4	8,8±0,6	31,1±1,5	22,3±0,6
Овощекормовой севооборот – первая ротация							
Апах.	1,30±0,02	2,56±0,02	49,1±0,5	4,6±0,2	6,9±0,3	24,5±0,5	17,6±0,5
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	1,52±0,03	2,63±0,02	42,2±0,4	4,2±0,2	6,3±0,4	21,8±0,6	15,5±0,4
А <sub>2</sub> В	1,54±0,02	2,70±0,03	42,9±0,4	3,0±0,1	4,3±0,2	15,6±0,6	11,3±0,4
В	1,65±0,03	2,55±0,02	35,1±0,3	6,3±0,3	9,5±0,4	32,1±0,9	22,6±0,5
Полевой севооборот – вторая ротация							
Апах.	1,26±0,02	2,60±0,03	51,5±0,5	4,8±0,2	7,2±0,3	25,7±0,5	18,5±0,5
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	1,41±0,02	2,63±0,04	46,6±0,5	4,2±0,1	6,4±0,2	22,1±0,7	15,8±0,4
А <sub>2</sub> В	1,53±0,03	2,68±0,02	42,7±0,5	3,0±0,2	4,6±0,3	16,1±0,5	11,6±0,4
В	1,69±0,03	2,53±0,03	33,4±0,4	6,2±0,4	9,4±0,6	32,9±0,9	23,5±0,6
Овощекормовой севооборот – вторая ротация							
Апах.	1,30±0,01	2,61±0,04	50,1±0,4	4,5±0,1	6,8±0,2	24,2±0,5	17,4±0,5
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	1,46±0,02	2,64±0,03	44,6±0,6	4,0±0,1	6,1±0,2	20,7±0,7	14,6±0,3
А <sub>2</sub> В	1,53±0,03	2,68±0,04	43,1±0,4	3,1±0,4	4,6±0,6	15,8±0,7	11,2±0,3
В	1,71±0,03	2,49±0,04	31,4±0,3	6,4±0,4	9,6±0,6	34,4±0,8	24,8±0,5

повышения объёмной массы почвы на 0,04-0,05 г/см<sup>3</sup> (3-4 %) и снижения общей пористости на 1,2-1,4 % и наименьшей влагоёмкости в пределах пахотного слоя почвы на 1,6-2,5 % (6-10 % отн.) под действием более интенсивной механической обработки почвы, разрушения почвенной структуры и уплотнения сельскохозяйственными агрегатами. Аналогичная по направленности тенденция обнаружилась и в иллювиальном горизонте, но причиной этого здесь стало описанное выше усиление нисходящей миграции илистых частиц в овощекормовом севообороте.

Влияние минеральной системы удобрения на комплекс общих физических и водно-физических свойств почвы было ещё менее значимым (табл. 12). В аккумулятивно-элювиальной толще его практически не было. И лишь

Таблица 12 – Зависимость общих физических и водно-физических свойств почвы от минеральной системы удобрения (среднее по вариантам в 2018 г. – завершение второй ротации)

Горизонт почвы	Свойство почвы, ед.изм.						
	$m_{об}$ , г/см <sup>3</sup>	$m_{уд.}$ , г/см <sup>3</sup>	V, %	МГ, %	ВУЗ, %	НВ, %	ДАВ, %
NPK 0							
Апах.	1,29±0,02	2,61±0,02	50,5±0,5	4,6±0,2	6,9±0,2	24,9±0,5	18,0±0,5
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,43±0,03	2,63±0,03	45,5±0,4	4,1±0,1	6,2±0,3	21,6±0,7	15,4±0,3
A <sub>2</sub> B	1,53±0,03	2,67±0,02	42,7±0,4	3,0±0,3	4,6±0,3	15,9±0,7	11,3±0,3
B	1,68±0,02	2,53±0,04	33,4±0,3	6,3±0,4	9,4±0,5	33,0±0,9	23,6±0,6
NPK 1							
Апах.	1,27±0,01	2,60±0,02	51,1±0,3	4,7±0,2	7,1±0,3	25,2±0,6	18,1±0,5
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,44±0,03	2,64±0,03	45,4±0,5	4,1±0,2	6,2±0,3	21,3±0,7	15,1±0,4
A <sub>2</sub> B	1,54±0,03	2,68±0,03	42,8±0,4	3,0±0,2	4,5±0,4	15,9±0,8	11,4±0,3
B	1,71±0,02	2,52±0,03	32,1±0,3	6,3±0,4	9,4±0,6	33,7±1,1	24,3±0,5
NPK 2							
Апах.	1,29±0,02	2,61±0,03	50,7±0,4	4,7±0,2	7,0±0,3	24,8±0,5	17,8±0,5
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,43±0,02	2,64±0,02	45,7±0,3	4,1±0,3	6,3±0,2	21,3±0,8	15,0±0,3
A <sub>2</sub> B	1,52±0,03	2,69±0,03	43,3±0,4	3,1±0,2	4,7±0,4	16,2±0,7	11,5±0,4
B	1,71±0,03	2,50±0,03	31,7±0,3	6,4±0,4	9,7±0,6	34,3±1,0	24,6±0,6

в иллювиальном горизонте обнаружилась характерная тенденция снижения общей пористости и повышения влагоёмкости за счёт определённого усиления внутрисочвенной миграции илистых частиц почвы под действием минеральных удобрений.

Положительный эффект от применения высоких и очень высоких окультуривающих дозировок подстилочного навоза в сочетании с поддерживающим известкованием ожидаемо оказался значительно более выраженным и охватывал в разной степени практически всю почвенную толщу (табл. 13).

В пахотном слое и аккумулятивно-элювиальном горизонте преобразования были связаны, главным образом, с процессами гумусо- и структурообразования, в иллювиальных горизонтах – с накоплением илистых компонентов.

Максимальные параметры оптимизации комплекса физических свойств почвы в гумусовых горизонтах были достигнуты уже к концу первой ротации

Таблица 13 – Изменение общих физических и водно-физических свойств почвы вследствие её окультуривания

Горизонт почвы	Свойство почвы, ед.изм.						
	$m_{об.}$ , г/см <sup>3</sup>	$m_{уд.}$ , г/см <sup>3</sup>	$V_{общ.}$ , %	МГ, %	ВУЗ, %	НВ, %	ДАВ, %
Среднеокультуренная почва – первая ротация							
Апах.	1,35±0,02	2,63±0,03	48,6±0,4	4,1±0,1	6,2±0,3	21,2±0,6	15,1±0,3
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,57±0,03	2,67±0,03	41,1±0,4	3,8±0,2	5,7±0,3	17,8±0,7	12,1±0,3
A <sub>2</sub> B	1,52±0,02	2,71±0,04	44,1±0,3	2,8±0,2	4,2±0,2	14,9±0,7	10,7±0,2
B	1,63±0,03	2,57±0,03	36,7±0,3	5,9±0,4	8,9±0,5	29,7±1,1	20,8±0,5
Хорошо окультуренная почва – первая ротация							
Апах.	1,27±0,02	2,56±0,02	50,3±0,5	4,7±0,2	7,0±0,3	25,1±0,5	18,1±0,4
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,46±0,02	2,62±0,03	44,3±0,4	4,2±0,1	6,4±0,4	23,1±0,8	16,7±0,4
A <sub>2</sub> B	1,54±0,03	2,68±0,03	42,6±0,4	3,1±0,1	4,7±0,3	16,9±0,6	12,2±0,3
B	1,66±0,03	2,58±0,03	35,5±0,3	5,9±0,3	8,9±0,6	32,2±1,1	23,3±0,6
Высоко окультуренная почва – первая ротация							
Апах.	1,22±0,02	2,52±0,03	51,8±0,4	5,4±0,2	8,2±0,3	29,7±0,5	21,5±0,5
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,39±0,03	2,56±0,03	45,7±0,5	4,7±0,2	7,1±0,4	24,7±0,7	17,6±0,3
A <sub>2</sub> B	1,54±0,03	2,64±0,04	41,7±0,5	3,2±0,2	4,8±0,2	17,4±0,8	12,6±0,3
B	1,66±0,03	2,55±0,02	34,8±0,4	6,5±0,4	9,8±0,5	33,1±1,3	23,3±0,6
Среднеокультуренная почва – вторая ротация							
Апах.	1,36±0,01	2,65±0,03	48,7±0,5	4,1±0,2	6,1±0,2	21,7±0,5	15,6±0,5
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,58±0,02	2,67±0,03	41,0±0,5	3,7±0,3	5,6±0,2	18,0±0,8	12,4±0,3
A <sub>2</sub> B	1,54±0,03	2,69±0,02	42,9±0,5	2,7±0,2	4,1±0,4	14,8±0,5	10,7±0,2
B	1,68±0,03	2,54±0,03	33,9±0,4	6,0±0,3	9,0±0,7	31,5±0,8	22,5±0,6
Хорошо окультуренная почва – вторая ротация							
Апах.	1,26±0,02	2,60±0,02	51,7±0,5	4,6±0,2	7,0±0,3	25,5±0,6	18,5±0,4
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,40±0,02	2,64±0,03	46,9±0,4	4,1±0,2	6,2±0,2	22,4±0,8	16,2±0,4
A <sub>2</sub> B	1,53±0,03	2,69±0,02	43,3±0,4	3,1±0,2	4,7±0,5	15,9±0,7	11,2±0,4
B	1,70±0,03	2,51±0,04	32,4±0,3	6,4±0,4	9,6±0,6	33,7±0,9	24,1±0,5
Высоко окультуренная почва – вторая ротация							
Апах.	1,23±0,02	2,57±0,04	52,0±0,5	5,3±0,1	7,9±0,2	27,6±0,7	19,7±0,6
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,36±0,02	2,60±0,04	47,9±0,5	4,5±0,1	6,7±0,2	23,2±0,9	16,5±0,4
A <sub>2</sub> B	1,53±0,03	2,67±0,04	42,6±0,4	3,3±0,4	4,9±0,5	17,2±0,7	12,3±0,3
B	1,72±0,03	2,49±0,04	30,8±0,4	6,6±0,4	9,9±0,6	36,8±0,9	25,9±0,6

севооборотов. Значительное поступление свежего органического и гумифицированного вещества вызвало снижение удельной массы (плотности твёрдой фазы) почвы Апах. у хорошо и высоко окультуренной почв на 0,07 и 0,11 г/см<sup>3</sup> (на 3 и 4%).

Коагуляция органических и органо-минеральных коллоидов в виде тонких адгезионных пленок на поверхности минеральных частиц способствовала образованию структурных агрегатов и, как следствие, перестройке порового пространства почвы. Прямым результатом этого стало желательное для культурных растений сокращение объемной массы (плотности сложения, или средней плотности) почвы в пахотном слое хорошо- и высоко окультуренной почв на 0,08 и 0,13 г/см<sup>3</sup> (на 6 и 10%) и увеличение общей пористости на 1,4 и 3,2% (на 3 и 7% отн.).

Кроме того, положительно на обогащение гумусом и изменение порового пространства (увеличение капиллярной пористости) отреагировали и водно-физические свойства почвы. Так в пределах пахотного слоя у хорошо- и высоко окультуренной почв максимальная гигроскопичность (максимальная гигроскопическая влажность) увеличилась на 0,6 и 1,3 % (на 15 и 32 % отн.), влажность устойчивого завядания – на 0,8 и 2 % (на 13 и 32 % отн.), наименьшая (полевая или полная полевая) влагоёмкость – на 3,9 и 7,5 % (на 18 и 35 % отн.), диапазон активной влаги – на 3 и 6,4 % (20 и 42 % отн.) соответственно. Положительные трансформации, связанные с насыщением гумусом и структурообразованием, затронули и подпахотный слой почвы. Его общая пористость возросла даже более значительно – на 3,2 и 4,6 % (8 и 12 % отн.), чем в пахотном слое.

Изменения физических свойств в элювиально-иллювиальном и иллювиальном горизонтах были вызваны, главным образом, осаждением илистых частиц в поровом пространстве. Это привело, с одной стороны, к некоторому уплотнению и сокращению общей пористости. С другой стороны, к определённому повышению влагоёмкости, в частности, наименьшей на 2,5 и 3,4 % (8 и 11 % отн.).

Вполне очевидно, что в полной мере противостоять процессу обезиливания пахотного и подпахотного слоёв хорошо- и высокоокультуренной почв за счёт периодического внесения органического удобрения было весьма сложно. Можно сказать, что это в большей мере удалось в полевом севообо-

роте с травами, а в овощекормовом, где были лучше условия для минерализации органического вещества и миграции продуктов выветривания, значительно труднее.

Фактически по завершении второй ротации севооборотов внесением органического удобрения благоприятные свойства пахотного слоя удалось сохранить у хорошо окультуренного вида, а у высокоокультуренного даже при внесении вдвое большей дозы – лишь частично. Устояли лишь общие физические кондиции, а у водно-физических свойств наметилась негативная тенденция снижения всех видов влагоёмкости, ставшая следствием утраты илистой фракции, мигрировавшей в иллювиальные горизонты.

К концу второй ротации севооборотов превосходство хорошо- и высококультуренной почв перед среднекультуренной достигло в пахотном слое: по объёмной массе - 0,1 и 0,13 г/см<sup>3</sup> (7 и 10%), по удельной массе - 0,03 и 0,07 г/см<sup>3</sup> (1 и 3%), по общей пористости - 3 и 3,3 % (6 и 7% отн.), по максимальной гигроскопичности – 0,5 и 1,2% (8 и 20% отн.), по влажности устойчивого завядания – 0,9 и 1,8% (15 и 30% отн.), по наименьшей влагоёмкости – 3,8 и 5,9% (18 и 27% отн.), по диапазону активной влаги – 2,9 и 4,1% (19 и 26 % отн.). В подпахотном слое аналогичные показатели достигли 0,18 и 0,22 г/см<sup>3</sup> (11 и 14 % отн.) по  $m_{об}$ , 0,05 и 0,08 г/см<sup>3</sup> (2 и 3% отн.) – по  $m_{уд}$ , 5,9 и 6,9 % (14 и 17% отн.) – по  $V_{общ}$ , 0,4 и 0,8% (10 и 20% отн.) - по МГ, 0,9 и 1,8% (16 и 32 % отн.) – по ВУЗ, 4,4 и 5,2 % (24 и 29% отн.) – по НВ и 3,8 и 4,1% (15 и 20% отн.) – по ДАВ соответственно.

Дальнейшее обогащение илом иллювиального горизонта у хорошо- и высококультуренной почвы вызвало сокращение общей пористости на 1,5 и 2,1% (4 и 6% отн.), увеличение максимальной гигроскопичности – на 0,4 и 0,6% (7 и 10% отн.), влажности устойчивого завядания – на 0,6 и 0,9% (7 и 10% отн.), наименьшей влагоёмкости – на 2,2 и 5,3% (7 и 17% отн.), диапазона активной влаги – на 1,6 и 3,4% (7 и 15% отн.).

Таким образом, оптимизация комплекса общих физических и водно-физических свойств под действием окультуривания в пределах пахотного и

подпахотного горизонтов имела выраженный характер, зависящий от уровня применения удобрений. Она позволила увеличить потенциальный запас доступной растениям влаги только в пахотном слое на 87 т/га в хорошо окультуренном и на 123 т/га – в высокоокультуренном состоянии. Однако процессы нисходящей миграции илистых частиц в супесчаной почве при этом только усиливаются, что ведёт к весьма нежелательной утрате потенциально плодородных компонентов, а так же уплотнению и снижению водопроницаемости иллювиального горизонта.

### 3.2.3 Структурное состояние почвы в условиях эксперимента

Структурное состояние и механические свойства почвенных агрегатов в значительной мере определяют комплекс физико-механических свойств почвы, её тепловой, водный, воздушный и питательный режимы (Качинский, 1933; Ревут, 1964; Глобус, 2000; Шеин, 2006). Из всего комплекса агрофизических свойств дерново-подзолистых почв – это один из наиболее податливых окультуриванию, главным образом, за счёт химической мелиорации, применения органических удобрений и посева культур – структурообразователей (многолетних трав и др.). Однако у обедненных илистой фракцией легких дерново-подзолистых почв добиться желаемого с агрономических позиций эффекта бывает весьма затруднительно. Так в экспериментах кафедры почвоведения ЛСХИ добиться значимой оптимизации агрофизических свойств песчаной дерново-подзолистой почвы удавалось лишь при увеличении её обеспеченности гумусом более 6-7 %, что в производственных условиях практически невозможно. Но и в этом случае сформировать устойчивые агрегаты из крупных песчаных частиц не удалось (Александрова и др., 1965).

Результаты лабораторного исследования почвенных образцов методом сухого (по Саввинову) и мокрого (с использованием прибора Бакшеева) рассева, показали, что на фоне интенсивного мелиоративного и механического

воздействия уже по завершении первой ротации севооборотов обнаружались некоторые закономерности (прил. Д).

Во-первых, структурное состояние почвы в отдельных её горизонтах определялось всем комплексом обуславливающих его факторов (гранулометрическим составом, содержанием гумуса и кислотностью) (табл. 14). Так

Таблица 14 - Зависимость структурного состояния почвы опыта от типа севооборота и уровня окультуренности почвы в 2011 г.

(сухой рассев по Саввинову)

Горизонт почвы	Массовая доля (%) агрегатов по фракциям (мм)								Кстр
	>10	5 - 10	3 - 5	1 - 3	0,5 - 1	0,25-0,5	<0,25	0,25-10	
Полевой севооборот									
Апах.	13,4±0,6	12,5	12,5	10,4	10,0	20,4	20,8±0,7	65,8±1,5	1,9
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	13,7±0,6	9,9	9,5	11,6	10,9	22,7	21,7±0,6	64,6±1,1	1,8
А <sub>2</sub> В	7,1±0,4	2,8	4,8	7,0	8,8	34,1	35,3±1,2	57,6±1,2	1,4
В	31,2±2,5	18,4	12,3	8,4	5,6	7,3	16,8±0,5	52,0±1,4	1,1
Овощекормовой севооборот									
Апах.	7,0±0,5	10,8	12,0	9,1	7,2	23,9	30,1±0,9	63,0±1,4	1,7
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	13,7±0,7	10,2	10,8	9,8	9,0	20,7	25,8±0,6	60,5±1,1	1,5
А <sub>2</sub> В	5,9±0,3	3,3	5,5	7,6	8,4	31,6	37,7±1,4	56,4±0,8	1,3
В	33,6±2,3	19,3	11,0	9,0	5,5	8,0	13,5±0,4	52,9±1,2	1,1
Среднеокультуренная почва									
Апах.	14,8±0,5	7,6	8,5	7,4	6,0	18,4	37,6±1,3	47,7±1,2	0,9
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	14,8±0,6	6,4	7,7	6,0	8,7	20,5	36,1±0,9	49,2±0,9	1,0
А <sub>2</sub> В	6,4±0,3	3,2	7,9	9,6	9,4	29,2	34,5±1,4	59,2±1,0	1,4
В	30,1±2,0	19,3	9,6	9,5	5,9	10,1	15,6±0,5	54,3±1,3	1,2
Хорошо окультуренная почва									
Апах.	10,9±0,3	12,4	13,1	10,6	8,7	24,0	20,5±0,8	68,7±1,0	2,2
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	13,8±0,6	11,8	9,0	14,2	11,0	20,9	19,5±0,7	66,8±1,1	2,0
А <sub>2</sub> В	6,1±0,3	2,9	3,8	5,2	8,0	35,6	38,5±1,6	55,5±1,2	1,2
В	32,9±1,8	19,0	12,4	8,8	5,3	6,6	15,2±0,4	52,0±1,0	1,1
Высокоокультуренная									
Апах.	4,9±0,3	14,9	15,3	11,3	11,2	24,1	18,4±0,8	76,8±1,3	3,3
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	12,6±0,5	12,1	13,8	12,0	10,2	23,8	15,8±0,6	71,7±1,4	2,5
А <sub>2</sub> В	7,0±0,4	3,2	3,8	7,2	8,4	33,9	36,7±1,3	56,4±1,3	1,3
В	34,4±2,1	18,4	13,1	8,0	5,4	6,3	14,7±0,5	51,0±0,8	1,0

макроструктурная крупноглыбистая фракция (29-35 %) ожидаемо доминиро-

вала в суглинистом иллювиальном горизонте, а микроструктурная, напротив, имела минимальную представленность (12-19 %) среди все генетических горизонтов (прил. Д, табл. Д1). Обеднённый илом в силу специфики почвообразования элювиально-иллювиальный горизонт имел противоположный характер распределения этих малоценных в агрономическом смысле фракций.

Во-вторых, не менее ожидаемым было наличие значимых изменений в пределах пахотного слоя почвы. Здесь прямым следствием увеличения интенсивности механической обработки почвы в овощекормовом севообороте, стало определённое распыление агрегатов, выраженное сокращением в среднем по вариантам опыта в 1,9 раза (с 13,4 до 7,0 %) доли крупноглыбистой (макроструктурной) фракции и увеличение в 1,4 раза (с 20,8 до 30,1 %) пылеватой фракции. С учётом имеющихся литературных данных можно уверенно предполагать, что эта фракция в нашем случае представлена в основном элементарными механическими частицами. При этом на среднеокультуренной почве овощекормового севооборота доля этой микроструктурной фракции достигла 40,2 % (прил. Д, табл. Д1).

Под действием севооборотного фактора (сельскохозяйственные культуры и соответствующая им обработка почвы) в Апах. овощекормового севооборота на 11 % снизился коэффициент структурности, на 14 % (отн.) и без того низкая доля водопрочных агрегатов и на 19 % - коэффициент или критерий водопрочности (по Бакшееву) мезоструктурных агрегатов и (табл. 15). В-третьих, основным фактором оптимизации весьма неблагоприятного структурного состояния супесчаной почвы стало её комплексное окультуривание с использованием доломиовой муки и высоких доз органических удобрений при закладке опыта. Неудобряемая должным образом среднеокультуренная почва в пахотном слое характеризовалась весьма посредственной и непрочной комковато-порошистой структурой с удовлетворительным содержанием (47,7 %) агрономически ценных агрегатов, доля которых с глубиной даже увеличивалась, и неудовлетворительными параметрами их водопрочности (27,6 %) и критерия водопрочности (0,38).



Таблица 15 – Структурное состояние почвы опыта в 2011 г. по данным  
мокрого рассева (среднее по вариантам)

Горизонт почвы	Массовая доля (%) агрегатов по фракциям (мм)							Квп
	7 - 10	5 - 7	3 - 5	1 - 3	0,5 - 1	0,25 – 0,5	0,25-10	
Полевой севооборот								
Апах.	3,9	3,6	6,1	11,3	5,8	12,9	43,6±0,7	0,77
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	3,9	2,8	5,7	12,3	6,2	13,8	44,7±0,8	0,81
Овощекормовой севооборот								
Апах.	3,8	4,5	5,8	6,1	4,1	13,8	38,2±0,7	0,62
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	4,1	3,7	5,8	6,5	4,9	14,0	36,8±0,7	0,58
Среднеокультуренная почва								
Апах.	2,5	2,9	4,0	4,8	4,2	9,3	27,6±0,6	0,38
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	3,5	2,5	4,1	4,8	3,6	7,9	26,3±0,5	0,36
Хорошо окультуренная почва								
Апах.	3,5	4,5	6,5	9,3	5,3	15,3	44,3±0,8	0,80
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	4,2	3,3	6,5	10,0	6,6	16,9	43,9±0,7	0,78
Высоко окультуренная почва								
Апах.	5,5	4,8	7,5	12,2	5,4	15,5	50,8±0,9	1,03
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	4,4	4,0	6,8	13,5	6,5	17,1	52,1±1,2	1,09

У хорошо- и высокоокультуренной почвы к концу первой ротации севооборотов доля агрономически ценных мезоструктурных агрегатов увеличилась в сравнении со среднеокультуренной в 1,4 и 1,6 раза или на 44 и 61 %, коэффициент структурности – на 144 и 267 %, водопрочность – на 61 и 84 % (отн.), критерий водопрочности – на 111 и 271 %, соответственно. В результате структурное состояние обоих видов почв на тот момент времени может быть оценено в целом как хорошее комковато-зернистое при удовлетворительной водопрочности агрегатов.

И всё же нельзя не отметить, что даже гиперинтенсивным внесением органических удобрений (540 + 80 т/га) в высокоокультуренной супесчаной почве относительно хорошо окультуренной (220 + 40 т/га) удалось повысить долю агрономически ценных агрегатов лишь на 12 % (отн.), коэффициент структурности - на 50 %, водопрочность – на 12 %, а критерий водопрочности – на 29 %.

Но и сохранить такие параметры структурного состояния к концу второй ротации севооборотов оказалось практически невозможно, даже, несмотря на применение в целях воспроизводства плодородия 35 и 70 т/га птичьего помёта, обладающего явным превосходством перед навозом в части оструктурирующего действия на почву (Производство, изучение и применение ..., 2018) (табл. 16). За 6 лет в среднем по опыту доля агрономически ценных

Таблица 16 – Зависимость структурного состояния почвы опыта от типа севооборота, уровня окультуренности почвы и минеральной системы удобрения в 2018 г. (сухой рассев по Савинову)

Горизонт почвы	Массовая доля (%) агрегатов по фракциям (мм)								Кстр.
	>10	5 - 10	3 - 5	1 - 3	0,5 - 1	0,25-0,5	<0,25	0,25-10	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Полевой севооборот									
Апах.	11,0±0,4	12,4	11,0	10,2	8,7	20,8	25,7±0,8	63,2±1,4	1,7
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	12,9±0,5	11,8	9,5	8,8	8,9	18,8	18,1±0,6	57,8±1,0	1,4
А <sub>2</sub> В	7,5±0,4	4,0	4,3	6,3	8,1	34,5	35,2±2,5	57,2±1,5	1,3
В	34,4±1,4	23,6	8,3	6,7	5,2	4,6	17,2±0,9	48,4±1,7	0,9
Овощекормовой севооборот									
Апах.	5,5±0,3	11,8	10,8	9,6	7,9	20,6	34,0±1,0	60,8±1,1	1,5
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	15,9±0,6	13,8	11,3	9,4	7,6	17,7	24,4±0,7	59,7±1,0	1,5
А <sub>2</sub> В	6,6±0,3	4,1	5,8	6,0	8,7	32,5	36,4±2,3	57,1±2,0	1,3
В	35,9±1,6	23,1	9,0	6,8	4,4	6,2	14,5±1,1	49,6±1,9	1,0
Среднеокультуренная почва									
Апах.	8,1±0,4	8,6	7,5	6,7	5,8	19,8	43,5±1,1	48,4±0,9	0,9
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	17,5±0,7	16,7	8,2	5,4	4,3	17,8	30,1±0,9	52,4±1,1	1,1
А <sub>2</sub> В	6,0±0,2	4,2	7,3	6,8	7,6	32,5	35,5±1,9	58,4±1,9	1,4
В	33,9±1,2	25,7	6,8	5,6	3,7	7,2	17,1±1,2	49,0±1,7	1,0
Хорошо окультуренная почва									
Апах.	6,0±0,3	13,2	10,0	10,0	7,5	21,1	32,1±1,0	61,9±1,2	1,6
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	15,0±0,5	11,5	10,4	13,1	9,2	17,5	23,3±0,8	61,7±1,0	1,6
А <sub>2</sub> В	7,2±0,4	4,1	6,2	4,7	10,0	31,5	36,4±1,9	56,4±2,2	1,3
В	36,6±1,3	24,7	9,0	7,7	4,9	6,1	11,0±0,9	52,4±2,0	1,1
Высокоокультуренная									
Апах.	2,5±0,2	13,7	14,7	12,0	10,5	21,1	26,5±1,0	72,0±1,0	2,5
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	15,3±0,5	13,2	15,4	9,7	9,2	17,7	19,7±0,7	65,0±1,3	1,9
А <sub>2</sub> В	6,3±0,4	4,1	5,6	6,7	8,0	33,1	36,4±2,1	57,4±1,5	1,3
В	35,6±1,6	22,4	8,9	6,4	4,1	6,3	16,3±1,0	48,1±1,8	0,9
Без NPK									

Продолжение табл. 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Апах.	8,6±0,4	11,0	10,9	10,1	8,2	20,1	31,1±1,1	60,3±1,2	1,7
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	15,8±0,6	13,4	11,1	9,8	8,9	19,5	21,5±0,7	62,8±0,9	1,8
А <sub>2</sub> В	7,5±0,3	4,1	5,4	5,4	9,0	33,1	35,5±2,0	57,0±1,8	1,3
В	34,3±1,1	22,2	9,3	7,4	5,2	6,0	15,6±0,8	50,0±1,8	1,0
NPK 1									
Апах.	8,7±0,5	12,4	10,8	9,7	8,7	21,2	29,0±0,9	62,8±1,2	1,8
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	15,1±0,7	13,6	11,0	9,0	8,7	19,4	23,3±0,7	61,6±1,0	1,7
А <sub>2</sub> В	6,8±0,3	3,9	4,9	6,3	8,3	33,9	36,0±1,8	57,3±2,1	1,4
В	35,0±1,3	23,5	8,2	7,0	5,0	5,5	15,9±0,9	49,2±1,7	1,0
NPK 2									
Апах.	7,8±0,4	13,1	11,1	10,0	7,9	20,8	29,4±0,9	62,9±1,3	1,9
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	15,0±0,6	14,0	10,8	10,0	8,6	19,1	22,4±0,7	62,6±1,1	1,8
А <sub>2</sub> В	6,7±0,4	4,2	5,0	6,6	7,7	33,7	36,2±2,4	57,2±1,9	1,3
В	36,3±1,5	24,5	8,6	5,8	4,0	4,6	16,2±1,3	47,5±1,8	0,9

агрегатов снизилась с 64,4 % в 2011 г. до 62 % в 2018 г., коэффициент структурности с 1,8 до 1,6, водопрочность этих агрегатов – с 40,9 до 36,8 и критерий водопрочности – с 0,69 до 0,59 (табл. 17). Одной из главных причин этого, вероятно, стало постепенное обезиливание пахотного слоя почвы.

Разрыв в показателях структурного состояния почвы полевого и овощекормового севооборотов увеличился и в относительном выражении достиг по структурности 4 %, коэффициенту структурности – 13 %, водопрочности агрегатов – 25 % и критерию их водопрочности – 41 %. При этом ускоренными темпами снижалась водопрочность ценных в агрономическом смысле мезоагрегатов.

Среднегодовые темпы ухудшения доли агрономически ценных агрегатов в неудобренной среднеокультуренной почве составили 0,1 %, а их водопрочности 0,6 %, в хорошо- и высокоокультуренной почвах (в среднем по вариантам) – 1,0 и 0,8 % и 0,8 и 0,6 % соответственно. То есть увеличение дозы птичьего помёта с 35 до 70 т/га несколько замедлило деградационный процесс, но не предотвратило его.

Тем не менее, по завершении второй ротации севооборота хорошо- и высокоокультуренная почвы, подвергшиеся ускоренному окультуриванию и

Таблица 17 – Структурное состояние почвы опыта в 2018 г. по данным  
мокрого рассева (среднее по вариантам)

Горизонт почвы	Массовая доля (%) агрегатов по фракциям (мм)							Квп
	7 - 10	5 - 7	3 - 5	1 - 3	0,5 - 1	0,25 - 0,5	0,25-10	
Полевой севооборот								
Апах.	3,5	3,5	5,5	10,2	6,7	11,4	40,8±0,7	0,69
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	3,3	2,9	5,1	10,2	6,0	11,1	38,7±0,7	0,63
Овощекормовой севооборот								
Апах.	3,4	3,6	5,0	6,2	4,3	10,2	32,7±0,7	0,49
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	3,2	3,2	5,6	6,3	5,2	11,2	34,7±0,6	0,53
Среднеокультуренная почва								
Апах.	2,1	2,4	3,7	4,2	4,1	7,2	23,8±0,5	0,31
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	2,0	2,1	3,2	3,8	3,3	5,1	19,4±0,5	0,24
Хорошо окультуренная почва								
Апах.	3,4	3,9	5,5	9,5	5,8	11,5	39,5±0,8	0,65
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	3,5	3,3	5,9	10,1	6,7	13,1	42,6±0,8	0,74
Высоко окультуренная почва								
Апах.	4,9	4,3	6,6	11,0	6,7	13,7	47,1±0,8	0,89
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	4,4	3,9	7,0	10,8	6,8	15,4	48,1±0,9	0,93
Без NPK								
Апах.	3,5	3,4	5,3	8,0	5,3	11,2	36,7±0,7	0,58
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	3,0	2,8	4,9	7,5	4,7	10,4	33,2±0,6	0,50
NPK 1								
Апах.	3,5	3,5	5,2	8,2	5,7	10,6	36,8±0,8	0,58
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	3,4	3,1	5,5	8,6	6,0	11,5	38,2±0,7	0,62
NPK 2								
Апах.	3,3	3,7	5,3	8,4	5,5	10,6	36,8±0,8	0,58
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	3,5	3,4	5,6	8,5	6,1	11,6	38,7±0,9	0,63

воспроизводству плодородия, характеризовались относительным превосходством перед среднеокультуренным аналогом по показателю доли агрономически ценных агрегатов 28 и 49 %, по коэффициенту структурности – 78 и 178 %, по водопрочности агрегатов – 66 и 98 %, по критерию водопрочности – 110 и 187 %.

Влияние минеральной системы удобрения в среднем по вариантам опыта имело слабовыраженный положительный характер, достигнутый во многом за счёт её положительного эффекта на среднеокультуренной почве. Здесь за счёт лучшего развития корневых систем растений и повышения при-

хода органического вещества в почву с пожнивнокорневыми остатками в пахотном слое удобренных вариантов оструктуренность (доля агрономически ценных агрегатов) увеличилась на 5,5 % (абс.), коэффициент структурности – на 0,2 ед. при выраженной тенденции к снижению водопрочности агрегатов. Последнее, вероятно стало следствием существенного подкисления почвы.

Таким образом, подвергшаяся деградации супесчаная дерново-подзолистая почва обладает весьма распылённой и непрочной комковато-порошистой структурой с удовлетворительными параметрами оструктуренности и неудовлетворительной водопрочностью почвенных агрегатов. По уровню положительного воздействия на структурное состояние пахотного слоя почвы изученные в опыте факторы сформировали убывающий ряд: окультуривание и воспроизводство плодородия, севооборот (посев трав и уменьшение интенсивности обработки почвы) и минеральная система удобрения. К концу опыта хорошо- и высокоокультуренная почвы в пределах пахотного слоя характеризовались весьма непрочной комковато-зернистой структурой с хорошей оструктуренностью в 62 и 72 % при удовлетворительной водопрочности в 40 и 47 % соответственно. У среднеокультуренной почвы эти показатели снизились до уровня 48 (удовлетворительно) и 24 % (неудовлетворительно).

Среднегодовые темпы снижения доли агрономически ценных агрегатов в неудобренной среднеокультуренной почве составили 0,1 %, а их водопрочности - 0,6 %. У хорошо- и высокоокультуренных почв, несмотря на применение птичьего помёта они оказались такими же в части утраты водопрочности и 10 и 8 раз выше в части доли агрономически ценных агрегатов.

Учитывая полученные темпы сокращения показателей структурности окультуренных супесчаных дерново-подзолистых почв, можно констатировать, что для их воспроизводства среднегодовой уровень применения органических удобрений (должен составлять не менее 15-20 т/га).

### 3.3 Изменение физико-химических свойств почвы в условиях опыта

Как свидетельствуют данные использованных литературных источников (разд. 1), физико-химические свойства целинных дерново-подзолистых почв Северо-Западного региона чаще неудовлетворительные. Обусловлено это спецификой факторов почвообразования и, особенно, обеднённостью материнских пород и растительного опада основаниями и промывным водным режимом. Поэтому улучшение физико-химических свойств почвы является одной из основных задач при её окультуривании (Благовидов, 1954; Левин, 1972; Сапожников, Корнилов, 1977; Никитин, 1986; Иванов, 2000).

Особенностью изучаемой нами почвы было то, что она представляет объект окультуривания 60-80-х годов прошлого века (в 1990 году  $pH_{KCl}$  этой почвы был 6,8 ед). Но к моменту закладки эксперимента она подверглась деградационному процессу, затронувшему, в том числе, и её физико-химические свойства. Хотя последние оставались ещё лучшими относительно свойств целинных и слабоокультуренных аналогов ( $pH_{KCl}$  - 5,4-5,8,  $N_g$  - 2,3-2,5 сМоль(экв)/кг,  $S$  - 5,3-5,5 сМоль(экв)/кг). Поэтому задача оптимизации этих свойств не принадлежала к числу наиболее актуальных. В то же время физико-химические свойства почв не относятся к числу консервативных характеристик последних. Напротив, их ухудшение в природно-климатических условиях региона почти неизбежно. Тем более, это касается окультуренных почв с искусственно сформированным оптимальным статусом таких свойств (Небольсин и др., 1997; Ефимов, Иванов, 2001; Конашенков и др., 2019). С учётом сильной кислотности материнской и подстилающей пород исходной почвы ( $pH_{KCl}$  - 3,8-4,7) позитивные изменения в физико-химических свойствах объекта нашего исследования могли формироваться только за счёт агротехнических мероприятий. Среди изучаемых факторов решающее значение имело интенсивное и гиперинтенсивное применение органического удобрения на фоне поддерживающего известкования, выразив-

шееся в формировании почвы соответствующей окультуренности (табл. 18, прил. Е).

Таблица 18 – Изменение физико-химических свойств почвы вследствие её окультуривания (среднее по вариантам опыта)

Горизонт почвы	Свойства почвы, ед. изм.							
	рН		H <sub>обм.</sub>	Al <sub>подв.</sub>	H <sub>г.</sub>	Сосн.	ЕКО	Vосн., %
	H <sub>2</sub> O	KCl	СМОЛЬ(ЭКВ)/КГ					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Среднеокультуренная почва - при закладке опыта (2006 г)								
A <sub>пах.</sub>	6,43±0,10	5,61±0,07	0,11±0,01	0,08±0,01	2,40±0,11	5,41±0,27	7,81±0,33	69
Среднеокультуренная почва – конец первой ротации севооборота (2011 г)								
A <sub>пах.</sub>	6,19±0,12	5,34±0,07	0,13±0,01	0,10±0,01	2,59±0,13	4,93±0,22	7,52±0,29	66
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	6,35±0,12	5,53±0,08	0,14±0,01	0,11±0,01	2,59±0,11	5,78±0,25	8,37±0,31	69
A <sub>2</sub> B	5,92±0,09	5,09±0,06	0,08±0,01	0,05±0,01	1,42±0,08	3,26±0,20	4,68±0,23	70
B	4,73±0,09	3,85±0,07	1,19±0,05	0,86±0,06	3,04±0,22	3,47±0,21	6,51±0,28	53
Среднеокультуренная почва – конец второй ротации севооборота (2018 г)								
A <sub>пах.</sub>	5,79±0,08	5,12±0,09	0,24±0,02	0,15±0,01	2,93±0,12	3,95±0,24	6,88±0,28	57
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	5,94±0,11	5,24±0,08	0,21±0,01	0,13±0,01	2,40±0,13	3,42±0,22	5,82±0,26	59
A <sub>2</sub> B	5,69±0,09	5,03±0,05	0,27±0,02	0,20±0,02	1,77±0,09	2,51±0,17	4,28±0,23	59
B	5,21±0,13	4,46±0,11	0,76±0,04	0,48±0,02	2,56±0,15	3,33±0,20	5,89±0,28	57
Хорошо окультуренная почва - при закладке опыта (2006 г)								
A <sub>пах.</sub>	7,10±0,14	6,22±0,12	0,01±0	0	1,57±0,08	6,98±0,26	8,55±0,31	82
Хорошо окультуренная почва – конец первой ротации севооборота (2011 г)								
A <sub>пах.</sub>	6,75±0,12	5,84±0,09	0,07±0,01	0,02±0	2,10±0,12	6,43±0,21	8,53±0,32	75
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	6,77±0,14	5,97±0,10	0,05±0,01	0,01±0	2,04±0,10	6,52±0,15	8,56±0,25	76
A <sub>2</sub> B	6,02±0,10	5,18±0,08	0,07±0,01	0,02±0	1,62±0,15	3,54±0,11	5,16±0,22	69
B	4,93±0,15	4,08±0,11	0,63±0,05	0,48±0,03	2,58±0,13	3,64±0,15	6,22±0,24	59
Хорошо окультуренная почва – конец второй ротации севооборота (2018 г.)								
A <sub>пах.</sub>	6,77±0,13	5,99±0,07	0,05±0,01	0	1,85±0,09	6,70±0,29	8,55±0,31	78
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	6,64±0,12	5,97±0,11	0,06±0,01	0,01±0	2,02±0,11	6,06±0,22	8,08±0,28	75
A <sub>2</sub> B	5,96±0,12	5,21±0,12	0,14±0,01	0,08±0,01	1,23±0,11	2,52±0,14	3,75±0,25	67
B	5,37±0,16	4,80±0,14	0,45±0,06	0,24±0,03	2,21±0,14	3,24±0,16	5,45±0,25	59
Высокоокультуренная почва – при закладке опыта (2006 г.)								
A <sub>пах.</sub>	7,28±0,15	6,37±0,12	0	0	1,06±0,07	8,00±0,31	9,06±0,33	88
Высокоокультуренная почва – конец первой ротации севооборота (2011 г.)								
A <sub>пах.</sub>	6,97±0,12	6,15±0,12	0,03±0	0	1,66±0,09	7,39±0,27	9,05±0,30	82
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	7,01±0,13	6,15±0,10	0,04±0	0	1,58±0,11	7,66±0,27	9,24±0,30	83
A <sub>2</sub> B	6,42±0,11	5,64±0,08	0,12±0,01	0,03±0	0,89±0,05	3,87±0,19	4,76±0,22	81

Продолжение табл. 18

1	2	3	4	5	6	7	8	9
В	5,89±0,13	5,05±0,13	0,36±0,04	0,18±0,03	2,35±0,14	3,33±0,20	5,68±0,26	59
Высокоокультуренная почва – конец второй ротации севооборота (2018 г.)								
A <sub>пах.</sub>	7,06±0,13	6,25±0,07	0,01±0	0	1,44±0,07	7,25±0,29	8,69±0,31	83
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	7,03±0,11	6,23±0,11	0	0	1,40±0,09	6,65±0,22	8,05±0,27	83
A <sub>2</sub> В	6,57±0,09	5,78±0,10	0,06±0	0	1,00±0,08	3,80±0,13	4,80±0,17	79
В	5,69±0,14	4,92±0,08	0,15±0,02	0,09±0,01	1,34±0,13	3,92±0,15	5,26±0,20	75

Выбранная для проведения длительного опыта почва в пределах пахотного слоя обладала невысокой кислотностью ( $pH_{KCl} - 5,61$ ), сформированной, в большей степени, катионами подвижного алюминия, при средней насыщенности основаниями (69%). Почти такими же показателями физико-химических свойств характеризовался и подпахотный слой почвы. Вследствие внесения в предшествующие разворачиванию опыта годы на гектар по 220 т навоза и извести  $pH_{KCl}$  увеличился до 6,22 (то есть практически до нейтрального уровня), степень насыщенности основаниями – до 82 %, а внесения 540 т навоза и 3 т извести – до 6,37 и 88% соответственно. При этом в составе обменно поглощённых катионов уже не стало подвижного алюминия.

В течение первой ротации севооборотов пахотный слой исходной (среднеокультуренной) почвы, на которой не применялись поддерживающие окультуренность агромероприятия, повысил показатели всех видов почвенной кислотности ( $pH_{N_2O}$  уменьшился на 0,24 ед.,  $pH_{KCl}$  – на 0,27 ед., степень насыщенности основаниям – на 3 %;  $H_f$  увеличилась на 0,19 сМоль/кг). Физико-химические свойства нижележащих почвенных горизонтов за первые 6 лет не претерпели существенных изменений.

Свойства искусственно окультуренных в 2003-2005 гг. почв за это время претерпели даже несколько большие негативные изменения, несмотря на внесение в них за ротацию по 40 и 80 т/га навоза. В пределах пахотного слоя хорошо окультуренной почвы  $pH_{N_2O}$  уменьшился на 0,35 ед.,  $pH_{KCl}$  – на 0,38 ед., Собм. – на 0,55 сМоль/кг;  $H_f$  увеличилась на 0,53 сМоль/кг. У высоко-



окультуренной почвы эти изменения составили 0,31 и 0,22 ед., 0,61 и 0,60 сМоль/кг соответственно.

Среднегодовая трансформация показателей физико-химических свойств используемой в севооборотах супесчаной дерново-подзолистой почвы характеризовалась цифрами: уменьшение  $pH_{KCl}$  – 0,048 ед., Собм. – 0,091 сМоль/кг, увеличение  $H_r$  – 0,073 сМоль/кг.

В течение второй ротации севооборотов ухудшение свойств средне-окультуренной почвы продолжалось: в пределах пахотного слоя  $pH_{N_2O}$  уменьшился ещё на 0,4 ед.,  $pH_{KCl}$  – на 0,22 ед., содержание обменных оснований – на 0,64 сМоль/кг; показатель гидролитическая кислотность увеличился на 0,34 сМоль/кг. При этом негативные изменения затронули все аккумулятивно-элювиальные горизонты.

В этом отношении, существенно отличалась трансформация свойств хорошо- и высокоокультуренных почв, в которые во второй ротации севооборотов было внесено по 35 и 70 т/га обогащенного основаниями птичьего помёта. Это позволило предотвратить дальнейшее ухудшение физико-химических свойств этих почв. Хотя, относительно исходных показателей, в конце опыта они имели  $pH_{KCl}$  в среднем на 0,18 ед., а степень насыщенности основаниями – на 4 % ниже.

Изучаемые в опыте варианты минеральной системы удобрения как со средними, так и с повышенными дозами туков на физико-химических свойствах почвы не сказывались (причём, по всей глубине почвенного профиля) (табл. 19).

Эти данные находятся в определённом противоречии с распространённым мнением о подкисляющем действии на почву минеральных удобрений. Хотя идентичные данные были получены и в многолетних исследованиях на остаточно-карбонатных почвах Псковской области (Иванов и др., 2010; Воробьёв и др., 2016).

Не прослеживалось отчётливой взаимосвязи физико-химических

Таблица 19 – Зависимость физико-химических свойств почвы от минеральной системы удобрения (в среднем по вариантам опыта в 2018)

Горизонт почвы	Свойства почвы, ед. изм.							
	рН		Н <sub>обм.</sub>	Al <sub>подв.</sub>	Н <sub>г.</sub>	S	ЕКО	V, %
	H <sub>2</sub> O	KCl						
<b>НПК0</b>								
A <sub>пах.</sub>	6,65±0,13	5,88±0,07	0,08±0,01	0,04±0,01	2,00±0,12	6,01±0,27	8,01±0,31	75
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	6,55±0,12	5,80±0,09	0,10±0,01	0,03±0,01	1,53±0,10	5,40±0,23	6,93±0,27	78
A <sub>2</sub> B	6,03±0,10	5,29±0,08	0,11±0,01	0,08±0,01	1,18±0,08	3,19±0,19	4,37±0,22	73
B	5,29±0,14	4,52±0,11	0,26±0,03	0,16±0,02	2,19±0,14	3,62±0,18	5,81±0,25	62
<b>НПК1</b>								
A <sub>пах.</sub>	6,59±0,12	5,83±0,08	0,09±0,01	0,05±0,01	2,01±0,10	5,93±0,24	7,94±0,28	75
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	6,51±0,12	5,80±0,10	0,10±0,01	0,03±0	1,87±0,11	5,48±0,23	7,35±0,27	75
A <sub>2</sub> B	5,88±0,11	5,15±0,07	0,16±0,02	0,11±0,01	1,14±0,09	3,07±0,20	4,21±0,24	73
B	5,28±0,16	4,56±0,11	0,33±0,03	0,19±0,02	1,84±0,14	3,76±0,20	5,60±0,22	67
<b>НПК2</b>								
A <sub>пах.</sub>	6,62±0,13	5,84±0,08	0,09±0,01	0,05±0,01	1,94±0,09	5,99±0,25	7,93±0,28	76
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	6,59±0,12	5,80±0,11	0,11±0,01	0,03±0	1,85±0,12	5,73±0,28	7,58±0,26	79
A <sub>2</sub> B	6,27±0,09	5,48±0,07	0,16±0,02	0,08±0,01	1,20±0,10	3,17±0,22	4,37±0,20	73
B	5,42±0,15	4,64±0,10	0,29±0,04	0,17±0,02	1,97±0,15	3,70±0,16	5,67±0,22	65

свойств почвы и с типом севооборота (табл. 20). Хотя, как отмечалось в разделе 3.2.1, вертикальная миграция илистых частиц в условиях овощекормового севооборота была в разы большей, в сравнении с полевым, динамика распределения в почвенном профиле катионов ППК была для обоих севооборотов практически одинаковой. А именно – мероприятия по окультуриванию в любом случае положительно сказывались на физико-химических свойствах почвы в пределах её аккумулятивно-элювиальной толщи, оптимизируя их в горизонтах A<sub>пах</sub> и A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>. Почва иллювиального горизонта продолжала характеризоваться высокой обменной кислотностью и значительным содержанием подвижного алюминия. Тенденция к незначительному уменьшению содержания обменных оснований в почве пахотного и подпахотных горизонтов тоже была идентичной.

Из приведённой информации можно сделать заключение, что дерново-подзолистые почвы лёгкого гранулометрического состава в условиях

Таблица 20 – Изменение физико-химических свойств почвы в условиях разных типов севооборота (среднее по вариантам опыта)

Горизонт почвы	Свойства почвы, ед. изм.							
	рН		Н <sub>обм.</sub>	Al <sub>подв.</sub>	Н <sub>г.</sub>	S	ЕКО	V, %
	Н <sub>2</sub> O	КСl						
Полевой севооборот – первая ротация								
A <sub>пах.</sub>	6,67±0,12	5,81±0,09	0,08±0,01	0,04±0,01	1,98±0,09	6,30±0,24	8,28±0,30	76
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	6,71±0,14	5,89±0,11	0,08±0,01	0,04±0,01	2,10±0,10	6,68±0,24	8,78±0,32	76
A <sub>2</sub> B	6,15±0,11	5,36±0,07	0,10±0,01	0,03±0,01	1,15±0,07	3,69±0,15	4,84±0,24	76
B	5,32±0,15	4,43±0,09	0,53±0,04	0,37±0,03	3,08±0,20	3,34±0,18	6,42±0,26	52
Полевой севооборот – вторая ротация								
A <sub>пах.</sub>	6,62±0,13	5,86±0,11	0,09±0,01	0,06±0,01	1,98±0,11	5,98±0,23	7,96±0,29	75
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	6,65±0,12	5,87±0,10	0,08±0,01	0,05±0,01	1,76±0,09	5,83±0,20	7,59±0,28	77
A <sub>2</sub> B	6,06±0,12	5,32±0,09	0,16±0,02	0,09±0,01	1,17±0,08	3,14±0,13	4,31±0,22	73
B	5,33±0,13	4,57±0,08	0,30±0,03	0,17±0,02	2,07±0,14	3,69±0,15	5,76±0,25	64
Овощекормовой севооборот – первая ротация								
A <sub>пах.</sub>	6,59±0,11	5,74±0,10	0,07±0,01	0,04±0,01	2,25±0,12	6,20±0,25	8,45±0,32	73
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	6,70±0,13	5,87±0,10	0,07±0,01	0,02±0	1,93±0,11	6,73±0,26	8,66±0,29	78
A <sub>2</sub> B	6,09±0,10	5,24±0,08	0,07±0,01	0,05±0,01	1,28±0,08	3,47±0,18	4,75±0,24	73
B	5,04±0,14	4,22±0,11	0,91±0,07	0,64±0,05	2,23±0,15	4,08±0,18	6,31±0,27	65
Овощекормовой севооборот – вторая ротация								
A <sub>пах.</sub>	6,47±0,13	5,71±0,11	0,11±0,01	0,05±0,01	2,16±0,12	5,95±0,22	8,11±0,31	73
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	6,52±0,12	5,76±0,10	0,08±0,01	0,03±0	2,13±0,12	5,22±0,21	7,35±0,27	71
A <sub>2</sub> B	6,08±0,10	5,64±0,10	0,18±0,02	0,10±0,01	1,49±0,09	2,31±0,15	3,80±0,22	61
B	5,52±0,14	4,78±0,08	0,61±0,5	0,38±0,03	2,02±0,14	3,33±0,16	5,35±0,24	62

пахотного использования и для повышения уровня окультуренности, и для его сохранения нуждаются в агротехнических мероприятиях, обеспечивающих компенсацию продуктивных и непродуктивных потерь оснований.

### 3.4 Изменение основных агрохимических свойств почвы

С учётом агрофизической направленности нашей работы в данном разделе полученная в ходе исследованная информация рассматривается в сокращённом виде. Хотя следует иметь в виду, что агрохимические свойства объекта нашего исследования претерпели наиболее значительные изменения

(в 1990 году содержание органического вещества составляло 4,08 %, подвижного фосфора – 490 мг/кг, калия – 327 мг/кг).

Как и агрофизические, агрохимические свойства почвы в той или иной степени трансформировались под влиянием всех изучаемых средств воспроизводства плодородия (главным образом, за счёт их воздействия на баланс органического вещества и питательных элементов).

У среднекультуренной почвы в условиях обоих типов севооборотов на фоне отрицательного баланса все изучаемые агрохимические свойства значительно ухудшились (табл. 21). В частности, содержание органического

Таблица 21 – Влияние средств воспроизводства плодородия почвы на её агрохимические свойства

Вариант системы удобрения	Год	Агрохимические свойства ( $A_{\text{пах.}}$ ) по севооборотам					
		полевой севооборот			овощекормовой севооборот		
		Органическое в-во, %	$P_2O_5$	$K_2O$	Органическое в-во, %	$P_2O_5$	$K_2O$
			мг/кг			мг/кг	
<b>Среднекультуренная почва</b>							
-	2006	2,92±0,03	287±12	223±12	3,06±0,04	305±17	233±12
НПК 0	2018	2,41±0,04	176±14	48±4	2,39±0,04	137±10	57±4
НПК 1	2018	2,47±0,05	188±12	61±4	2,25±0,05	175±12	107±8
НПК 2	2018	2,59±0,05	185±15	68±5	2,38±0,06	222±18	126±8
<b>Хорошо окультуренная почва</b>							
-	2006	3,33±0,04	330±20	450±23	4,09±0,07	368±19	514±31
НПК 0	2018	3,37±0,06	352±21	179±16	3,47±0,06	413±23	194±16
НПК 1	2018	3,51±0,05	371±19	192±13	3,74±0,05	409±23	207±14
НПК 2	2018	3,56±0,06	353±22	196±11	3,71±0,05	402±20	218±16
<b>Высококультуренная почва</b>							
-	2006	3,71±0,07	420±26	630±31	4,07±0,09	447±21	810±52
НПК 0	2018	4,24±0,07	405±21	278±20	4,06±0,08	446±18	381±25
НПК 1	2018	4,43±0,08	387±21	256±25	4,15±0,08	410±17	338±20
НПК 2	2018	4,48±0,08	428±23	298±24	4,25±0,07	427±21	382±25

вещества уменьшилось за 12 лет в среднем на 0,57 %, подвижного фосфора – на 115, калия – на 150 мг/кг. Среднегодовые темпы снижения составили 0,048 %, 9,6 и 12,5 мг/кг соответственно. Минеральная система удобрения не

обеспечивала полной компенсации дефицита баланса, но замедляла деградацию фосфатно-калийного состояния почвы.

Трансформация агрохимических свойств хорошо- и высокоокультуренной почв не была столь однозначной. С одной стороны, это определялось внесением в них за две ротации севооборотов 75 и 150 т/га органических удобрений, с другой, - значительно большими продуктивными потерями элементов питания. В целом относительно благополучно сложилась ситуация с балансом органического вещества и фосфора, который был (в зависимости от варианта опыта) от слабodefицитного до слабopоложительного. В среднем по трём вариантам системы удобрения содержание органического вещества в почве пахотного слоя повысилось с 3,80 до 3,91 %, а содержание подвижного (по Кирсанову) фосфора – с 391 до 400 мг/кг. Баланс же калия оставался остродефицитным по всем вариантам опыта (среднегодовой его дефицит составлял 127 кг/га, в то время как на среднеокультуренной почве только 44 кг/га). Следствием этого стало снижение содержания подвижного (по Кирсанову) калия в хорошо окультуренной почве с 482 до 198, в высокоокультуренной – с 720 до 322 мг/кг, то есть в 2,4 и 2,2 раза соответственно.

Положительное действие минеральных удобрений проявлялось достаточно стабильно только по отношению содержания в почве органического вещества, вероятно, вследствие большего накопления пожнивно- и поукоснокорневых остатков. В среднем по опыту они обеспечили увеличение его содержания с 3,32 до 3,46 %. В то же время их влияние на почвенные запасы подвижных соединений фосфора и калия регистрировалось только на среднеокультуренной почве. Хотя теоретически это было ожидаемо и по другим вариантам опыта, поскольку интенсивность хозяйственного баланса фосфора и калия в вариантах NPK1 и NPK2 существенно превышала показатели варианта NPKO.

Тип севооборота в условиях анализируемого опыта не внёс значимых корректив в характер трансформации агрохимических свойств почвы, несмотря на неодинаковое потребление питательных веществ полевыми и

овощными культурами (по итогам двух ротаций интенсивность баланса фосфора в полевом севообороте была на 40 % ниже, чем в овощекормовом, а баланс калия, наоборот, на 37 % выше).

Полученные в исследовании данные позволяют сделать заключение, что сохранение искусственно сформированного уровня агрохимических показателей хорошо- и высококультуренных дерново-подзолистых почв лёгкого гранулометрического состава невозможно без значительных вложений в землю сельхозпроизводителями. Особенно это относится к почвам, включённым в севообороты интенсивного типа. Даже при внесении в таком севообороте в год на 1 га хорошо окультуренной почвы 6,3 т органических и 205-310 кг действующего вещества минеральных удобрений, а на 1 га высококультуренной почвы – 12,5 т и 205-310 кг соответственно большинство изучавшихся агрохимических свойств за 12 лет ухудшилось. И особенно критична ситуация с почвенными запасами подвижного калия. Правда, и необходимость поддержания их столь высокого уровня (до 810 мг  $K_2O$  в 1 кг почвы) вызывает сомнение.

#### 4 АГРОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОКУЛЬТУРИВАНИЯ СУПЕСЧАНОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО ВОСПРОИЗВОДСТВА ЕЕ ПЛОДОРОДИЯ

В современных условиях дороговизны промышленных удобрений и энергоносителей главным препятствием для внедрения научных разработок в области совершенствования земледельческих технологий является их низкая экономическая окупаемость. А последняя во многом зависит от агрономической эффективности рекомендуемых агромероприятий, то есть от величины достигаемых прибавок урожайности с единицы площади и в расчете на единицу действующего вещества удобрений.

Анализируемые в настоящем разделе данные многолетнего стационарного опыта относятся ко второй ротации севооборотов (2012-2017 гг.).

##### 4.1 Агрономическая эффективность использования окультуренных почв в системе полевого севооборота

В полевом севообороте сельскохозяйственные культуры возделывались в следующем хронологическом порядке: 2012 г. – ячмень с подсевом многолетних трав, 2013-2014 гг. – многолетние травы, 2015 г. – озимая рожь, 2016 г. – картофель, 2017 г. – однолетние травы. Использовались только районированные сорта указанных культур, возделывание которых велось на основе принятых зональных технологий. Помимо изучаемых факторов, существенное влияние на агрономическую эффективность возделывания отдельных культур и в целом севооборота оказывали погодные условия, существенно различающиеся в эти годы по степени благоприятности для соответствующих сельскохозяйственных растений.

#### 4.1.1 Агрonomическая эффективность возделывания ячменя с подсевом многолетних трав

Ячмень ультраскороспелого сорта Ленинградский был посеян в опыте 11 мая семенами элиты. В день посева прошел сильный ливень (17,5 мм), негативно отразившийся на полевой всхожести ячменя и на последующем развитии растений. Хотя уже на стадии всходов проявилось преимущество более окультуренных почв вследствие меньшего коркообразования на них (полевая всхожесть семян на хорошо окультуренной почве была выше на 17 % (относительных), а на высокоокультуренной – на 32 %). Различия в густоте стояния растений сохранялись и до конца вегетации.

Наступление фенофаз у растений на среднеокультуренной почве тоже задерживалось: кущения – на 3-4, выхода в трубку и колошения – на 3, цветения – на 5, полного созревания – на 2 дня.

На линейном росте растений отражались как степень окультуренности почвы (на 25 июля высота растений ячменя на среднеокультуренной почве составляла 99 см, на хорошо окультуренной – 114 см, на высокоокультуренной – 125 см), так и интенсивность системы удобрения (в варианте NPK0 – 98 см, NPK1 – 117 см, NPK2 – 124 см).

В конечном счете все эти различия выразились и соответствующей дифференциацией урожайности по вариантам опыта (табл. 22).

Следует отметить, что подсев под ячмень трав негативно сказался на его урожайности, которая не достигала потенциала сорта Ленинградский.

Отзывчивость ячменя на уровень окультуренности почвы может быть охарактеризована как высокая. В контрольных вариантах опыта с повышением степени окультуренности со средней до хорошей урожайность зерна увеличивалась на 34 %, до высокой – на 52 %. Отзывчивость же на удобрения по мере повышения степени окультуренности снижалась (особенно на повышенные дозы). Хотя и на более окультуренных почвах окупаемость 1 кг



Таблица 22 - Зависимость урожайности ячменя от окультуренности почвы и доз удобрений

Вариант системы удобрения (фактор Б)	Показатели агрономической эффективности по видам почвы (фактор А)							
	Урожайность зерна, т/га	Прибавка урожайности		Прибавка от окультуренности почвы		Прибавка от минеральных удобрений		Окупаемость 1 кг NPK, кг
		т/га	%	т/га	%	т/га	%	
Среднеокультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	1,86	-	-	-	-	-	-	-
N70P30K70 (NPK1)	3,34	1,48	80	-	-	1,48	80	8,7
N90P30K90 (NPK2)	3,83	1,97	106	-	-	1,97	106	9,4
Хорошо окультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	2,50	0,64	34	0,64	34	-	-	-
N70P30K70 (NPK1)	3,96	2,10	113	0,62	19	1,46	58	8,6
N90P30K90 (NPK2)	3,80	1,94	104	-0,03	-0,07	1,30	52	6,2
Высокоокультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	2,83	0,97	52	0,97	52	-	-	-
N70P30K70 (NPK1)	4,01	2,15	116	0,67	20	1,18	42	6,9
N90P30K90 (NPK2)	4,26	2,40	129	0,43	11	1,43	51	6,8
НСР <sub>05</sub> фактор А фактор Б взаимод АБ		0,14 0,20 F <sub>φ</sub> <F <sub>05</sub>		0,14		0,20		

NPK оставалась удовлетворительной – от 6,2 до 8,6 кг зерна.

#### 4.1.2 Агрономическая эффективность возделывания многолетних трав

Посевы многолетних трав в опыте были представлены травосмесью из клевера лугового и тимофеевки луговой. В первый год хозяйственного пользования они непосредственно не удобрялись, то есть оценка агрономической эффективности посевов проведена на фоне последствия внесенных под ячмень удобрений.

Наблюдениями в течение вегетации было установлено, что на фоне повышенных доз минеральных удобрений, внесенных под покровную культуру (NPK2), наступление фаз развития клевера и тимофеевки задерживалось на 2-4 дня; на хорошо- и высокоокультуренной почвах доля клевера в посевах уменьшалась на 3-4 %. На декадном приросте растений и клевера, и ти-

мофеевки существенно сказывалась только степень окультуренности почвы. Эта закономерность была подтверждена и результатами учета урожая (табл. 23).

Таблица 23 - Зависимость урожайности многолетних трав 1-го года хозяйственного использования от окультуренности почвы и последствий удобрений

Вариант системы удобрения (последствие) (фактор Б)	Показатели агрономической эффективности по видам почвы (фактор А)						
	Урожайность сена, т/га	Прибавка урожайности		Прибавка от окультуренности почвы		Прибавка от минеральных удобрений	
		т/га	%	т/га	%	т/га	%
Среднеокультуренная почва							
Контроль-0 (NPK0)	8,70	-	-	-	-	-	-
N70P30K70 (NPK1)	11,49	2,79	32	-	-	2,79	32
N90P30K90 (NPK2)	11,81	3,11	36	-	-	3,11	36
Хорошо окультуренная почва							
Контроль-0 (NPK0)	11,87	3,17	36	3,17	36	-	-
N70P30K70 (NPK1)	10,89	2,19	25	-0,60	-0,5	-0,98	-8
N90P30K90 (NPK2)	11,92	3,22	37	0,11	1	0,05	0,04
Высокоокультуренная почва							
Контроль-0 (NPK0)	14,09	5,39	62	5,39	62	-	-
N70P30K70 (NPK1)	14,41	5,71	66	2,92	25	0,32	2
N90P30K90 (NPK2)	15,90	7,20	83	4,09	35	1,81	13
НСР <sub>05</sub> фактор А		1,41		1,41			
фактор Б		$F_{\phi} < F_{05}$				$F_{\phi} < F_{05}$	
взаимод АБ		$F_{\phi} < F_{05}$					

Последствие минеральных удобрений устойчиво регистрировалось только на среднеокультуренной почве. По мере повышения степени окультуренности оно ослабевало, а на последствие малых доз NPK многолетние травы на хорошо- и высокоокультуренной почвах почти не реагировали. А в целом же урожайность трав во всех вариантах опыта была очень высокой.

На втором году хозяйственного пользования многолетних трав была проведена ранневесенняя их подкормка невысокими дозами полного удобрения. Несмотря на это, урожайность сена несколько снизилась (особенно на высокоокультуренной почве), что определялось, главным образом, уменьше-

нием относительно предыдущего года доли клевера в травосмеси: на средне-окультуренной почве с 55-57 до 36-48 %, на хорошо окультуренной – с 45-59 до 29-42 %, на высокоокультуренной – с 42-53 до 33-36 %.

Положительное действие повышенной окультуренности почвы стабильно проявлялось только в вариантах без удобрений. А на фоне удобрений оно практически отсутствовало (табл. 24).

Таблица 24 - Зависимость урожайности многолетних трав 2-го года хозяйственного использования от окультуренности почвы и доз удобрений

Вариант системы удобрения (фактор Б)	Показатели агрономической эффективности по видам почвы (фактор А)							
	Урожайность сена, т/га	Прибавка урожайности		Прибавка от окультуренности почвы		Прибавка от минеральных удобрений		Окупаемость 1 кг NPK, кг з.ед.
		т/га	%	т/га	%	т/га	%	
Среднеокультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	7,61	-	-	-	-	-	-	-
N20P20K20 (NPK1)	9,40	1,79	24	-	-	1,79	24	14,9
N40P40K40 (NPK2)	10,82	3,21	42	-	-	3,21	42	13,4
Хорошо окультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	8,89	1,27	17	1,27	17	-	-	-
N20P20K20 (NPK1)	9,42	1,81	24	0,02	0,2	0,53	6	4,4
N40P40K40 (NPK2)	11,03	3,42	45	0,21	2	2,14	24	8,9
Высокоокультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	9,12	1,51	20	1,51	20	-	-	
N20P20K20 (NPK1)	9,69	2,08	27	0,29	3	0,57	6	4,8
N40P40K40 (NPK2)	10,40	2,79	37	-0,42	-4	1,28	14	5,3
НСР <sub>05</sub> фактор А		0,72		0,72				
фактор Б		1,01				1,01		
взаимод АБ		F <sub>ф</sub> <F <sub>05</sub>						

Эффективность минеральной системы удобрения по мере повышения степени окультуренности закономерно понижалась. Как и в предыдущем году, на малые дозы удобрений многолетние травы, выращиваемые на хорошо- и высокоокультуренной почвах, практически не реагировали. Окупаемость 1 кг действующего вещества удобрений на таких почвах уменьшалась с 27-30 до 8,8-17,8 кг сена многолетних трав.

### 4.1.3 Агрономическая эффективность возделывания озимой ржи

В 2015 году после многолетних трав в севообороте возделывалась озимая рожь. Погодные условия 2014-2015 гг. не были идеальными для этой культуры. К их недостаткам следует отнести острую позднеосеннюю засуху и продолжительную волну июньского похолодания. Правда, посевы ржи весьма благополучно перенесли эти погодные аномалии.

Несмотря на сравнительно невысокую требовательность озимой ржи к почвенным условиям, она хорошо отзывалась и на повышение степени окультуренности, и на повышение доз удобрений (табл. 25).

Таблица 25 - Зависимость урожайности озимой ржи от окультуренности почвы и доз удобрений

Вариант системы удобрения (фактор Б)	Показатели агрономической эффективности по видам почвы (фактор А)							
	Урожайность зерна, т/га	Прибавка урожайности		Прибавка от окультуренности почвы		Прибавка от минеральных удобрений		Окупаемость 1 кг NPK, кг
		т/га	%	т/га	%	т/га	%	
Среднеокультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	4,83	-	-	-	-	-	-	-
N70P30K30 (NPK1)	6,21	1,38	29	-	-	1,38	29	10,6
N140P60K60 (NPK2)	6,88	2,05	42	-	-	2,05	42	7,9
Хорошо окультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	6,30	1,47	30	1,47	30	-	-	-
N70P30K30 (NPK1)	7,18	2,35	49	0,97	16	0,88	14	6,8
N140P60K60 (NPK2)	7,85	3,02	63	0,97	14	1,55	25	6,0
Высокоокультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	6,93	2,10	43	2,1	43	-	-	-
N70P30K30 (NPK1)	7,90	3,07	70	1,69	27	0,97	14	7,5
N140P60K60 (NPK2)	8,08	3,25	74	1,2	17	1,15	17	4,4
HCP <sub>05</sub> фактор А		0,40		0,40				
фактор Б		0,57				0,57		
взаимод АБ		F <sub>ф</sub> <F <sub>05</sub>						

Да и в контрольных вариантах опыта (включая абсолютный контроль) урожай был высоким. Тесную связь с уровнем окультуренности и дозами удобрений имели и такие показатели продуктивности посевов как продуктивная кустистость, выживаемость к уборке, число зерен в колосе (масса ты-

сячи зерен была весьма стабильной по всем вариантам опыта). Прибавки урожайности на контрольных вариантах хорошо- и высокоокультуренной почв составили 30 и 43 % соответственно. И даже на фоне удобрений они продолжали оставаться значительными по абсолютной величине – от 1 до 1,7 т/га.

В отличие от ряда культур, озимая рожь положительно реагировала на увеличение доз удобрений со средних (130 кг/га) до повышенных (260 кг/га) на почвах любой степени окультуренности. Но окупаемость 1 кг NPK при этом все же снижалась на 12-41 %.

#### 4.1.4 Эффективность возделывания картофеля в полевом севообороте

В 2016 году в севообороте возделывался картофель. Метеоусловия вегетационного периода были неблагоприятными для этой культуры. Длительное (со второй декады мая до середины июня) похолодание на фоне избытка осадков негативно отразилось на полевой всхожести картофеля. А в июле и в августе произошло сильное поражение посадок фитофторозом. Кроме того, в действие изучаемых факторов существенные коррективы вносило применение на хорошо- и высокоокультуренной почвах по 35 и 70 т/га птичьего помета (ПП) с целью поддержания исходного уровня их окультуренности. Низкая урожайность клубней (в том числе и по фону помета) (табл. 26) обусловлена значительной изреженностью посадок вследствие переувлажнения почвы и эпифитотийного поражения их фитофторозом (Иванов и др., 2019).

Формально можно было бы считать, что картофель хорошо отзывался на повышение степени окультуренности почвы до хорошей и высокой (прибавки урожайности относительно показателей на среднеокультуренной почве – 32 и 41 %), а также, что продолжал вполне удовлетворительно окупать минеральные удобрения на таких почвах. На самом же деле эти эффекты имели комплексную природу – влияние самого уровня окультуренности почвы и

Таблица 26 - Зависимость урожайности картофеля от окультуренности почвы и доз удобрений

Вариант системы удобрения (фактор Б)	Показатели агрономической эффективности по видам почвы (фактор А)							
	Урожайность клубней, т/га	Прибавка урожайности		Прибавка от окультуренности почвы		Прибавка от минеральных удобрений		Окупаемость 1 кг NPK, кг
		т/га	%	т/га	%	т/га	%	
Среднеокультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	17,92	-	-	-	-	-	-	-
N80P20K100 (NPK1)	25,06	7,14	40	-	-	7,14	40	36
N120P40K150 (NPK2)	28,17	10,25	57	-	-	10,25	57	33
Хорошо окультуренная почва								
Контроль - фон (35 т/га ПП)	23,67	5,75	32	5,75	32	-	-	-
N80P20K100 (NPK1)	29,48	11,56	65	4,42	18	5,81	25	29
N120P40K150 (NPK2)	32,07	14,15	79	3,90	14	8,40	35	27
Высокоокультуренная почва								
Контроль - фон (70 т/га ПП)	25,27	7,35	41	7,35	41	-	-	-
N80P20K100 (NPK1)	28,06	10,14	57	3,00	12	2,79	11	14
N120P40K150 (NPK2)	29,97	12,05	67	1,80	6	4,7	19	15
HCP <sub>05</sub> фактор А		2,17		2,17				
фактор Б		2,69				2,69		
взаимод АБ		F <sub>φ</sub> <F <sub>05</sub>						

высоких доз органического удобрения. К сожалению, принятая за основу методика исследования не позволяет вычлнить действие каждого фактора в отдельности. Достоверно можно лишь утверждать, что на среднеокультуренной почве даже в условиях столь неблагоприятного года минеральные удобрения характеризовались высокой окупаемостью – 33-36 кг клубней в расчете на 1 кг NPK.

#### 4.1.5 Агрономическая эффективность возделывания однолетних трав

Однолетние травы замыкали ротацию полевого севооборота. Идущие по очень ценному предшественнику, они, несмотря на неблагоприятные погодные условия 2017 года (холод в начале вегетации и избыток осадков в

конце), сформировали высокий урожай – от 7 до 12 т/га сена в вариантах без удобрений и 9-13 т/га – по фону минеральных удобрений (табл. 27).

Таблица 27 - Зависимость урожайности однолетних трав от окультуренности почвы и доз удобрений

Вариант системы удобрения (фактор Б)	Показатели агрономической эффективности по видам почвы (фактор А)							
	Урожайность сена, т/га	Прибавка урожайности		Прибавка от окультуренности почвы		Прибавка от минеральных удобрений		Окупаемость 1 кг NPK, кг
		т/га	%	т/га	%	т/га	%	
Среднеокультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	7,03	-	-	-	-	-	-	-
N60P30K60 (NPK1)	9,12	2,09	30	-	-	2,09	30	14
N90P45K90 (NPK2)	10,77	3,74	53	-	-	3,74	53	17
Хорошо окультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	11,40	4,37	62	4,37	62	-	-	-
N60P30K60 (NPK1)	12,18	5,15	73	3,06	34	0,78	7	5
N90P45K90 (NPK2)	13,10	6,07	86	2,33	22	1,70	15	8
Высокоокультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	12,30	5,27	75	5,27	75	-	-	-
N60P30K60 (NPK1)	12,97	5,94	84	3,85	42	0,67	5	4
N90P45K90 (NPK2)	13,40	6,37	91	2,63	24	1,17	10	5
НСР <sub>05</sub> фактор А фактор Б взаимод АБ		0,49 0,69 F <sub>φ</sub> <F <sub>05</sub>		0,49		0,69		

Есть основание предполагать, что очень высокие показатели агрономической эффективности окультуривания почвы (прибавки урожайности однолетних трав 62 и 75 %) в значительной степени обусловлены последствием внесенного в предыдущем году птичьего помета. Даже на фоне минеральных удобрений они продолжали оставаться весьма высокими – от 22 до 42 %. Сами же минеральные удобрения как в средних, так и в повышенных дозах характеризовались высокими показателями окупаемости только на среднеокультуренной почве. На хорошо- и высокоокультуренной почвах прибавки урожайности трав от их применения не превышали 10-15 %, а окупаемость 1 кг NPK – 5-8 кг сена. Вероятно, и в данном случае уменьшение агрономиче-

ской эффективности минеральной системы удобрения было связано с последствием высоких доз помета.

#### 4.1.6 Агрономическая эффективность окультуривания дерново-подзолистой почвы и ее последующего использования в полевом севообороте

На наш взгляд, более объективное представление об эффективности повторного восстановления плодородия подвергшейся деградационным процессам ранее хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы, а также длительного поддержания созданного уровня плодородия дает анализ показателей в целом за ротацию севооборота. Основные данные по второй ротации полевого севооборота приведены в таблице 28.

Таблица 28 – Зависимость агрономической эффективности полевого севооборота от окультуренности почвы и системы удобрения

Вариант системы удобрения (фактор Б)	Показатели агрономической эффективности по видам почвы (фактор А)								
	Продуктивность севооборота, т/га з. ед.	Прибавка продуктивности		Прибавка от окультуренности почвы		Прибавка от минеральных удобрений		КПД ФАР*, %	Окупаемость 1 кг NPK, з. ед.
		т/га з. ед.	%	т/га з. ед.	%	т/га з. ед.	%		
Среднеокультуренная почва									
Контроль - 0 (NPK0)	23,23	-	-	-	-	-	-	2,04	-
(NPK1)	31,27	8,04	35	-	-	8,04	35	2,84	12
(NPK2)	35,01	11,78	51	-	-	11,78	51	3,06	10,9
Хорошо окультуренная почва									
Контроль - фон**	31,21	7,98	34	7,98	34	-	-	2,74	-
Фон + (NPK1)	35,58	12,35	53	4,31	14	4,37	14	3,06	6,5
Фон + (NPK2)	39,51	16,68	72	4,5	13	8,3	27	3,32	7,7
Высокоокультуренная почва									
Контроль - фон**	34,91	11,68	50	11,68	50	-	-	3,01	-
Фон + (NPK1)	40,08	16,85	73	8,81	28	5,17	15	3,34	7,7
Фон + (NPK2)	42,9	19,67	85	7,89	23	7,99	23	3,54	7,4
НСР <sub>05</sub> фактор А		2,22		2,22					
фактор Б		2,84				2,84			
взаимод АБ		$F_{\phi} < F_{05}$							

\*При расчете КПД ФАР учитывался урожай основной и побочной продукции.

\*\*Фон – периодическое внесение органического удобрения с целью поддержания сформированного уровня окультуренности почвы.



Относительно одного из наиболее важных показателей агрономической эффективности – продуктивности 1 га севооборотной площади, можно определенно утверждать о его прямой зависимости от степени окультуренности почвы. В отсутствие удобрений ее среднегодовой показатель возрастал с 3,9 т зерновых единиц на среднеокультуренной почве до 5,2 – на хорошо окультуренной и 5,8 – на высокоокультуренной. Среди полевых культур лучшим откликом на окультуривание среднеокультуренной почвы до уровня хорошей окультуренности характеризовались озимая рожь, однолетние травы и картофель. А в целом убывающий ряд отзывчивости на окультуривание характеризовался следующими показателями прироста продуктивности (в тоннах зерновых единиц): озимая рожь (1,91) > однолетние травы (1,75) > картофель (1,63) > ячмень (1,14) > многолетние травы (1,13). На дальнейшее повышение степени окультуренности до высокой полевые культуры реагировали значительно слабее, а многолетние травы 2-го года хозяйственного пользования и картофель вообще не обеспечивали статистически значимых прибавок урожайности.

Эффективность минеральной системы удобрения была значительно выше на среднеокультуренной почве, где в среднем по двум ее вариантам прибавка продуктивности севооборота составила 9,9 т з. ед./га (на хорошо окультуренной – 6,3, на высокоокультуренной – 6,6 т з. ед.). По показателю окупаемости 1 кг действующего вещества удобрений среднеокультуренная почва обладала аналогичным преимуществом. Как и на уровень окультуренности почвы, на удобрения сельскохозяйственные культуры полевого севооборота тоже реагировали неодинаково. Убывающий ряд отзывчивости (по показателю окупаемости 1 кг NPK в зерновых единицах) сформировался следующим образом: многолетние травы 2-го года хозяйственного пользования (8,7) > ячмень (7,8) > рожь озимая (7,2) > картофель (6,4) > однолетние травы (3,5). При этом, конечно, надо иметь в виду, что окупаемость минеральных удобрений у ряда культур (картофель, однолетние травы) была снижена в ре-

зультате прямого действия и последствия примененного на хорошо- и высококультуренной почвах птичьего помета (отчасти, и неблагоприятными погодными условиями).

Оценка энергетической эффективности возделывания в полевом севообороте сельскохозяйственных культур через расчетный показатель коэффициента полезного действия фотосинтетически активной радиации (КПД ФАР) выявила аналогичные взаимосвязи с биологическими особенностями растений, окультуренностью почвы и дозами удобрений. В данном случае убывающий ряд характеризовался следующими средними по вариантам опыта показателями: озимая рожь (4,26 %) > многолетние травы (3,27 %) > однолетние травы (2,87 %) > картофель (2,85 %) > ячмень (2,57 %). А на хорошо- и высококультуренной почвах при использовании минеральных удобрений все эти культуры преодолевали 3-процентный уровень КПД ФАР, что означает возможность формирования урожаев порядка 7-10 т з. ед./га. При этом, наибольший вклад в повышение КПД ФАР вносил фактор окультуренности почвы. Удобрения играли здесь значительно меньшую роль (в среднем по вариантам опыта в 2,8 раза).

#### 4.2 Агронимическая эффективность использования окультуренных почв в системе овощекормового севооборота

В овощекормовом севообороте использовалась следующая схема чередования сельскохозяйственных культур: картофель (2012 г.) – озимая пшеница (2013 г.) – люпин узколистный (2014 г.) – свекла столовая (2015 г.) – капуста белокочанная (2016 г.) – ячмень (2017 г.). По требованию к почвенным условиям и по уровню потребления элементов питания эти культуры различались ещё больше, чем культуры полевого севооборота. То есть теоретически в этом севообороте следовало ожидать ещё большую дифференциацию в отзывчивости растений на уровень окультуренности почвы и на удобрения.

#### 4.2.1 Агрономическая эффективность возделывания в овощекормовом севообороте картофеля

Картофель раннеспелого сорта Ломоносовский открывал вторую ротацию овощекормового севооборота, в котором его предшественником был ячмень. Погодные условия вегетационного периода 2012 года были достаточно благоприятными для этой культуры.

Использованный в опыте сорт картофеля отличался интенсивным ростом и развитием, особенно на хорошо- и высокоокультуренной почвах. Продолжительность его межфазных периодов от посадки до цветения на этих почвах была 4-6 дней меньше. Высокий эффект лучшей окультуренности почвы подтвердился и проведенным на 60-й день после всходов учетом биологической массы посадок картофеля (раннего урожая клубней и вегетативной массы) (табл. 29).

Таблица 29 – Влияние степени окультуренности почвы и доз удобрений на накопление биологической массы картофеля на 60-й день после всходов

Вариант системы удобрения	Биологическая урожайность по видам почвы				
	всего, т/га	в том числе			
		вегетативная масса		клубни	
	т/га	%	т/га	%	
Среднеокультуренная почва					
Контроль-0 (NPK0)	40,4	16,9	42	23,5	58
N80P60K80 (NPK1)	55,5	24,5	44	31,0	56
N100P60K120 (NPK2)	60,2	26,4	44	33,8	56
Хорошо окультуренная почва					
Контроль - фон (навоз, 30 т/га)	64,1	28,1	44	36,0	56
Фон + N80P60K80 (NPK1)	65,5	30,2	46	35,3	54
Фон + N100P60K120 (NPK2)	69,9	33,8	48	36,1	52
Высокоокультуренная почва					
Контроль - фон (навоз, 60 т/га)	65,8	31,3	48	34,5	52
Фон + N80P60K80 (NPK1)	68,5	32,8	48	35,7	52
Фон + N100P60K120 (NPK2)	69,0	34,3	50	34,7	50

Уже к концу первой декады августа биологическая урожайность картофеля находилась в диапазоне 40,4-69,9 т/га, в том числе клубней – 23,5-36,1

т/га. С повышением степени окультуренности почвы она увеличивалась на 59-63 %. Но доля клубней в общем урожае уменьшалась на 2-6 %. В это время эффективность минеральной системы удобрения на хорошо- и высокоокультуренной почвах была весьма низкой, а высокие дозы удобрений положительно влияли только на урожайность ботвы.

На момент окончательной уборки картофеля (28 августа) урожайность клубней составляла от 28,2 до 46,9 т/га (табл. 30). Сильная ее дифференци-

Таблица 30 – Зависимость урожайности картофеля от окультуренности почвы и доз удобрений

Вариант системы удобрения (фактор Б)	Показатели агрономической эффективности по видам почвы (фактор А)								
	Урожайность клубней, т/га		Прибавка урожайности		Прибавка от окультуренности почвы		Прибавка от минеральных удобрений		Окупаемость 1 кг НРК, кг
	Потенц.	Фактич.	т/га	%	т/га	%	т/га	%	
Среднеокультуренная почва									
Контроль-0 (НРК0)	31,40	28,22	-	-	-	-	-	-	-
N80P60K80 (НРК1)	38,33	37,46	9,24	33	-	-	9,36	33	46
N100P60K120 (НРК2)	39,91	38,53	10,31	37	-	-	10,31	37	37
Хорошо окультуренная почва									
Контроль - фон (навоз, 30 т/га)	37,69	35,20	6,98	25	6,98	25	-	-	-
Фон + N80P60K80 (Фон+НРК1)	38,88	37,54	9,32	33	0,06	0,2	2,34	7	12,0
Фон + N100P60K120 (Фон+НРК2)	43,57	42,91	14,69	52	4,38	11	7,71	22	28,0
Высокоокультуренная почва									
Контроль - фон (навоз, 60 т/га)	42,46	40,87	12,65	45	12,65	45	-	-	-
Фон + N80P60K80 (Фон+НРК1)	45,33	42,34	14,12	50	4,86	13	1,47	4	7
Фон + N100P60K120 (Фон+НРК2)	48,92	46,89	18,67	66	8,36	22	6,02	15	22
НСР <sub>05</sub> фактор А	2,81	2,15			2,15				
фактор Б	3,12	2,89					2,89		
взаимод АБ	F <sub>φ</sub> <F <sub>05</sub>	F <sub>φ</sub> <F <sub>05</sub>							

ция по вариантам опыта тоже определялась в большей степени уровнем окультуренности почвы, точнее, окультуренности на фоне удобрения навозом. Сочетание этих двух факторов имело следствием кратное понижение

показателей агрономической эффективности минеральных удобрений. Так, прибавки урожайности клубней от их применения в средних и повышенных дозах уменьшались с 35 % на среднеокультуренной почве до 15 % - на хорошо- и 10 % - на высокоокультуренной, а окупаемость 1 кг NPK с 42 до 20 и 15 кг соответственно.

#### 4.2.2 Агрономическая эффективность возделывания озимой пшеницы

В овощекормовом севообороте озимая пшеница сорта Московская 56 размещалась по ценному предшественнику – раннему картофелю. Ее посев проводился 4 сентября, всходы появились на 9-10-й день после посева. Погодные условия осени 2012 года были благоприятными для озимых, поэтому растения пшеницы ушли в зиму хорошо развитыми. На контрольных вариантах они имели по 3 стебля, на вариантах с удобрениями – по 4. По силе роста заметно выделялись посевы на высокоокультуренной почве, высота растений в которых была на 1,5-4 см большей.

В отличие от осенних, погодные условия перезимовки были крайне неблагоприятными для этой культуры. Снег выпал поздно и на незамерзшую почву, а это привело к массовому (до 80 %) поражению растений снежной плесенью. Лишь благоприятные метеоусловия апреля (теплая погода, ранний сход снега), позволившие оперативно провести боронование и подкормку (по схеме опыта), уменьшили возможный ущерб урожаю.

Отрастание растений пшеницы наблюдалось 28 апреля, одновременно во всех вариантах опыта. Но фаза выхода в трубку на хорошо- и высокоокультуренной почвах наступала на 2-4 дня раньше, чем на среднеокультуренной. Разница в сроках исчезла к фазам колошения (10 мая) и цветения (20 мая). Напротив, молочная, восковая и полная спелость на среднеокультуренной почве наступала на 1-4 дня раньше.

Главным образом, вследствие неблагоприятных условий перезимовки, продуктивный потенциал сорта Московская 56 удалось реализовать только

на высокоокультуренной почве, где урожайность зерна (4,96 т/га) более чем в два раза превысила показатель абсолютного контроля (табл. 31).

Таблица 31 – Зависимость урожайности озимой пшеницы от окультуренности почвы и доз удобрений

Вариант системы удобрения (фактор Б)	Показатели агрономической эффективности по видам почвы (фактор А)							
	Урожайность зерна, т/га	Прибавка урожайности		Прибавка от окультуренности почвы		Прибавка от минеральных удобрений		Окупаемость 1 кг NPK, кг
		т/га	%	т/га	%	т/га	%	
Среднеокультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	2,14	-	-	-	-	-	-	-
N70P30K70 (NPK1)	3,05	0,91	43	-	-	0,91	43	5,4
N90P30K90 (NPK2)	3,11	0,97	45	-	-	0,97	45	4,6
Хорошо окультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	3,30	1,16	54	1,16	54	-	-	-
N70P30K70 (NPK1)	4,13	1,99	93	1,08	35	0,83	25	4,9
N90P30K90 (NPK2)	4,60	2,36	110	1,49	48	1,30	39	6,2
Высокоокультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	4,96	2,82	131	2,82	131	-	-	-
N70P30K70 (NPK1)	5,18	3,04	142	2,13	70	0,22	4	1,3
N90P30K90 (NPK2)	5,56	3,42	160	2,45	79	0,38	8	1,8
НСР <sub>05</sub> фактор А	0,33			0,33				
фактор Б	0,46					0,46		
взаимод АБ	$F_{\phi} < F_{05}$							

Конечно, в величине прибавок урожайности от повышенной окультуренности почвы определенное участие принимало и последствие внесенного под предшественник навоза. Оно же, вероятно, понижало и эффективность минеральной системы удобрения, особенно на высокоокультуренной почве, на которой окупаемость 1 кг NPK составляла всего 1,3-1,8 кг зерна. Весьма близкие показатели окупаемости минеральных удобрений на средне- и хорошо окультуренной почвах можно объяснить тем, что для ослабленных неблагоприятной перезимовкой растений ранневесенняя подкормка азотом в дозах 50 и 70 кг/га на этих почвах имела одинаково решающее значение.

### 4.2.3 Агрономическая эффективность возделывания узколистного кормового люпина

Посевы узколистного кормового люпина являются одним из средств повышения плодородия легких дерново-подзолистых почв. Принято считать, что эта культура малоотзывчива на удобрения. Хотя рядом исследований, в том числе и нашем регионе (Иванова, 2003), доказано, что это представление не совсем правильное. И в условиях нашего опыта регистрировалась хотя и невысокая, то достаточно стабильная отзывчивость люпина и на средние, и на повышенные дозы удобрений (табл. 32).

Таблица 32 – Зависимость урожайности люпина узколистного от окультуренности почвы и доз удобрений

Вариант системы удобрения (фактор Б)	Показатели агрономической эффективности по видам почвы (фактор А)							
	Урожайность зеленой массы, т/га	Прибавка урожайности		Прибавка от окультуренности почвы		Прибавка от минеральных удобрений		Окупаемость 1 кг NPK, кг
		т/га	%	т/га	%	т/га	%	
Среднеокультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	22,40	-	-	-	-	-	-	-
N80P80K80 (NPK1)	26,41	4,01	18	-	-	4,01	18	17
N120P120K120 (NPK2)	26,39	3,99	18	-	-	3,99	18	11
Хорошо окультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	37,19	14,79	66	14,79	66	-	-	-
N80P80K80 (NPK1)	41,22	18,82	84	17,81	56	4,03	11	17
N120P120K120 (NPK2)	46,17	23,77	106	19,78	75	8,98	24	25
Высокоокультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	35,63	13,23	59	13,23	59	-	-	-
N80P80K80 (NPK1)	41,58	19,18	86	15,17	57	5,95	17	25
N120P120K120 (NPK2)	40,40	18,00	80	14,01	53	4,77	13	13
НСР <sub>05</sub> фактор А		1,15		1,15				
фактор Б		1,61				1,61		
взаимод АБ		F <sub>φ</sub> <F <sub>05</sub>						

На повышение степени окультуренности почвы люпин реагировал также не менее других культур. Возможно, это объясняется слабой азотфиксирующей способностью люпина в конкретных почвенных условиях, поскольку

ку эта культура раньше здесь не возделывалась, а обработка семян соответствующим бактериальным препаратом не проводилась.

#### 4.2.4 Агрonomическая эффективность возделывания столовой свеклы

Возделывание столовой свеклы в севообороте пришлось на весьма неблагоприятный по погодным условиям 2015 год с его поздневесенней засухой и июньским похолоданием. Вероятно, это стало одной из причин повышенной ее отзывчивости на улучшение окультуренности почвы. Различия между вариантами с разной степенью окультуренности почвы стали ощутимыми уже на стадии всходов. А вследствие лучших показателей полевой всхожести семян густота стояния растений перед уборкой составляла на среднеокультуренной почве 18, на хорошо- и высокоокультуренной почвах – 21 и 22 шт./м<sup>2</sup> соответственно. В этом отношении влияние минеральных удобрений было несущественным. На массе же корнеплодов положительно сказывались и повышение степени окультуренности со средней до хорошей и высокой (средняя масса – 77, 106 и 121 г соответственно), и доза удобрений (NPK0 – 134 г, NPK1 – 155 г, NPK2 – 157 г). Сильное влияние на урожайность столовой свеклы обоих изучаемых факторов рельефно проявилось и в показателях агрономической эффективности ее возделывания в овощекормовом севообороте (табл. 33).

Неблагоприятные погодные условия вегетационного периода в большей степени сказались на среднеокультуренной почве. Столовая свекла, наиболее требовательная к почвенным условиям даже среди овощных культур, дала на этой почве крайне низкий урожай. Да и прибавки урожайности от минеральных удобрений уступали по абсолютной величине показателям на более окультуренных почвах. Хотя в целом окупаемость удобрений была весьма высокой во всех вариантах опыта – от 27 до 39 кг корнеплодов на 1 кг NPK.



Таблица 33 – Зависимость урожайности свеклы столовой от окультуренности почвы и доз удобрений

Вариант системы удобрения (фактор Б)	Показатели агрономической эффективности по видам почвы (фактор А)							
	Урожайность корнеплодов, т/га	Прибавка урожайности		Прибавка от окультуренности почвы		Прибавка от минеральных удобрений		Окупаемость 1 кг NPK, кг
		т/га	%	т/га	%	т/га	%	
Среднеокультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	14,25	-	-	-	-	-	-	-
N70P50K100 (NPK1)	21,28	7,03	49	-	-	7,03	49	32
N110P70K200 (NPK2)	24,33	10,08	71	-	-	10,08	71	27
Хорошо окультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	21,88	7,63	54	7,63	54	-	-	-
N70P50K100 (NPK1)	30,52	16,27	114	9,24	43	8,64	39	39
N110P70K200 (NPK2)	36,00	21,75	153	11,67	48	14,12	64	37
Высокоокультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	26,12	11,87	83	11,87	83	-	-	-
N70P50K100 (NPK1)	34,76	20,51	144	13,48	63	8,64	33	39
N110P70K200 (NPK2)	38,57	24,32	171	14,24	58	12,45	48	33
HCP <sub>05</sub> фактор А		1,87		1,87				
фактор Б		2,63				2,63		
взаимод АБ		F <sub>Ф</sub> <F <sub>05</sub>						

Товарность корнеплодов столовой свеклы тоже имела положительную корреляционную связь с уровнем окультуренности почвы и дозами удобрений: на слабоокультуренной почве – 71 %, хорошо- и высокоокультуренной – 86 и 91 %; по NPK0 – 83 %, NPK1 – 90 %, NPK2 – 92 %.

#### 4.2.5 Агрономическая эффективность возделывания белокочанной капусты

Возделывание в овощекормовом севообороте второй овощной культуры, капусты белокочанной, пришлось тоже на неблагоприятный по метеос условиям вегетационный период 2016 года, в котором необычно холодная погода продолжалась со второй декады мая до середины июня. На фоне повышенной влажности почвы имело место сильное развитие ризоктониоза, особенно на делянках с минеральными удобрениями. В таких агроэкологических условиях наиболее рельефно проявилась положительная роль хорошей

окультуренности почвы при крайне низкой (или даже отрицательной) эффективности минеральных удобрений. Конечно, в определенной степени, этому способствовало применение на хорошо- и высокоокультуренной почвах птичьего помета с целью поддержания ранее сформированного уровня окультуренности (табл. 34). Вследствие сложения эффектов двух факторов

Таблица 34 – Зависимость урожайности капусты белокочанной от окультуренности почвы и доз удобрений

Вариант системы удобрения (фактор Б)	Показатели агрономической эффективности по видам почвы (фактор А)								
	Урожайность кочанов, т/га		Прибавка урожайности		Прибавка от окультуренности почвы и помета		Прибавка от минеральных удобрений		Окупаемость 1 кг НРК, кг
	Потенц.	Фактич.	т/га	%	т/га	%	т/га	%	
Среднеокультуренная почва									
Контроль-0 (НРК0)	30,5	25,0	-	-	-	-	-	-	-
N100P40K160 (НРК1)	47,0	30,6	5,6	22	-	-	5,6	22	19
N150P60K240 (НРК2)	58,9	21,2	-3,8	-15	-	-	-3,8	-15	-
Хорошо окультуренная почва									
Контроль - фон (ПП, 35 т/га)	109,9	75,0	50,0	200	50,0	200	-	-	-
Фон + N100P40K160 (Фон+НРК1)	141,6	82,9	57,9	232	52,3	171	7,9	11	26
Фон + N150P60K240 (Фон+НРК2)	143,3	81,8	56,8	227	60,6	242	6,8	9	15
Высокоокультуренная почва									
Контроль - фон (ПП, 70 т/га)	128,1	77,3	52,30	209	52,3	209	-	-	-
Фон + N100P40K160 (Фон+НРК1)	161,7	81,6	56,60	226	51,0	167	4,3	6	14
Фон + N150P60K240 (Фон+НРК2)	162,5	79,0	54,00	216	57,8	272	1,7	2	4
НСР <sub>05</sub> фактор А	8,70	5,29			5,29				
фактор Б	12,18	7,40					7,40		
взаимод АБ	15,07	$F_{\phi} < F_{05}$							

наблюдалось повышение урожайности в вариантах без минеральных удобрений в три раза, в вариантах с удобрениями – в 2,7-3,7 раза.

Обобщая данные по двум типам севооборотов, можно констатировать, что в условиях эпифитотийной ситуации применение высоких доз минеральных удобрений может сопровождаться и негативными последствиями. На посадках капусты, в частности, недобор урожая от ризоктониоза колебался от

32-40 % в вариантах без минеральных удобрений до 43-64 % на фоне высоких доз последних. А это понизило и без того невысокую окупаемость туков урожаем белокочанной капусты.

#### 4.2.6 Агрономическая эффективность возделывания ячменя в овощекормовом севообороте

Ячмень замыкал ротацию овощекормового севооборота, имея предшественником белокочанную капусту. Как и озимая пшеница, во втором поле севооборота, ячмень возделывался на фоне последствий удобрений – весьма высоких доз минеральных на всех почвах и птичьего помета – на хорошо- и высококультуренной. Это не могло не отразиться на эффективности изучаемых факторов регулирования почвенного плодородия.

Определенные коррективы в этом направлении вносили и погодные условия вегетационного периода. Его начало было ознаменовано продолжительной волной холода, задержавшей развитие растений на 10-15 дней. А окончание вегетации происходило на фоне избыточных осадков и штормовой погоды, вызвавших полегание посевов и повышенные потери зерна при уборке, особенно в наиболее урожайных вариантах опыта.

С учетом всего этого, вполне ожидаемо, на хорошо- и высококультуренной почвах ни средние, ни повышенные дозы минеральных удобрений не обеспечивали статистически достоверных прибавок урожайности (табл. 35). Да и на среднекультуренной почве их окупаемость была невысокой – 4,4-5,3 кг зерна на 1 кг NPK.

Прибавки урожайности от окультуренности почвы были значительно лучшими, особенно на неудобренном фоне. Но в их формировании вполне возможно существенное влияние последствий высоких доз помета.

Таблица 35 – Зависимость урожайности ячменя от окультуренности почвы и доз удобрений

Вариант системы удобрения (фактор Б)	Показатели агрономической эффективности по видам почвы (фактор А)							
	Урожай- ность зер- на, т/га	Прибавка урожайно- сти		Прибавка от окультурен- ности почвы		Прибавка от минераль- ных удобре- ний		Окупае- мость 1 кг NPK, кг
		т/га	%	т/га	%	т/га	%	
Среднеокультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	4,20	-	-	-	-	-	-	-
N60P30K60 (NPK1)	4,86	0,66	16	-	-	0,66	16	4,4
N90P45K90 (NPK2)	5,4	1,2	29	-	-	1,2	29	5,3
Хорошо окультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	5,38	1,18	28	1,18	28	-	-	-
N60P30K60 (NPK1)	5,42	1,22	29	0,56	12	0,04	1	0,3
N90P45K90 (NPK2)	5,69	1,49	35	0,29	5	0,31	6	1,4
Высокоокультуренная почва								
Контроль-0 (NPK0)	5,81	1,61	38	1,61	38	-	-	-
N60P30K60 (NPK1)	5,92	1,72	41	1,06	22	0,11	2	0,7
N90P45K90 (NPK2)	5,97	1,77	42	0,57	11	0,16	3	0,7
НСР <sub>05</sub> фактор А	0,25			0,25				
фактор Б	0,35					0,35		
взаимод АБ	0,43							

#### 4.2.7 Агрономическая эффективность окультуривания дерново-подзолистой почвы и ее последующего использования в овощекормовом севообороте

Поскольку в овощекормовом севообороте шире представлены сельскохозяйственные культуры, предъявляющие повышенные требования к почвенным условиям в целом и к питательному режиму в частности, предполагалось, что в этом севообороте агрономическая эффективность окультуривающих мероприятий будет значительно выше. Но по факту это предположение подтвердилось не в полной мере (табл. 36).

Существенное преимущество относится к среднегодовым показателям продуктивности овощекормового севооборота – 6,4 т з. ед./га на хорошо- и 7,1 т з. ед./га на высокоокультуренной почвах (против 5,2 и 5,8 т з. ед./га – в

Таблица 36 – Зависимость агрономической эффективности овощекормового севооборота от окультуренности почвы и системы удобрения

Вариант системы удобрения (фактор Б)	Показатели агрономической эффективности по видам почвы (фактор А)								
	Продуктивность севооборота, т/га з. ед.	Прибавка продуктивности		Прибавка от окультуренности почвы		Прибавка от минеральных удобрений		КПД ФАР, %	Окупаемость 1 кг NPK, з. ед.
		т/га з. ед.	%	т/га з. ед.	%	т/га з. ед.	%		
Среднеокультуренная почва									
Контроль - 0 (NPK0)	22,81	-	-	-	-	-	-	1,74	-
(NPK1)	29,27	6,46	28	-	-	6,46	28	2,21	5,3
(NPK2)	29,12	6,31	28	-	-	6,31	28	2,26	3,4
Хорошо окультуренная почва									
Контроль - фон	38,18	15,37	67	15,37	67	-	-	2,85	-
Фон + (NPK1)	42,85	20,04	88	13,58	46	4,67	12	3,20	3,8
Фон + (NPK2)	46,33	23,52	103	17,21	59	8,15	21	3,47	4,4
Высокоокультуренная почва									
Контроль - фон	42,52	19,71	86	19,71	86	-	-	3,19	-
Фон + (NPK1)	46,12	23,31	102	16,85	58	3,60	8	3,46	2,9
Фон + (NPK2)	47,72	24,91	109	18,60	64	5,20	12	3,57	2,8
НСР <sub>05</sub> фактор А		2,97		2,97					
фактор Б		3,80				3,80			

полевым севообороте. То же касается общих прибавок продуктивности под влиянием возросшей степени окультуренности почвы и систем удобрения. В среднем по вариантам опыта они составили 93 % к абсолютному контролю (среднеокультуренная почва без удобрений). В полевом севообороте этот показатель равнялся 61 %. А поскольку свойства и режимы среднеокультуренной почвы не в полной мере соответствовали биологическим требованиям овощных культур, овощекормовой севооборот с его более высокими дозами минеральных удобрений уступал на этой почве полевому по показателям окупаемости единицы действующего вещества в 2,6 раза, по КПД ФАР – в 1,3 раза. И на более окультуренных почвах окупаемость 1 кг NPK была ниже в 2,1 раза. Культуры овощекормового севооборота по-разному отзывались на уровень окультуренности почвы. Убывающий ряд отзывчивости на окультуривание почвы, оцениваемый по показателям прироста продуктивности 1 га в тоннах зерновых единиц, выглядит следующим образом: капуста (8,18) >

картофель (2,45) > люпин узколистный (2,38) > озимая пшеница (1,99) > свекла столовая (1,56) > ячмень (1,40). При этом, как видно, здесь не наблюдалось устойчивой взаимосвязи с уровнем потребления питательных веществ, поскольку существенные коррективы в показатели агрономической эффективности вносили погодные условия вегетационных периодов, а также применение органических удобрений с целью поддержания соответствующего уровня окультуренности.

Эти же факторы служили причиной снижения эффективности минеральной системы удобрения. Хотя убывающий ряд отзывчивости на минеральные удобрения (по показателю окупаемости 1 кг NPK в зерновых единицах) имеет другой вид: картофель (6,3) > свекла столовая (5,5) > пшеница озимая (4,0) > люпин узколистный (2,8) > ячмень (2,1) = капуста (2,1).

Энергетическая эффективность возделывания сельскохозяйственных культур в овощекормовом севообороте может быть оценена убывающим рядом показателя КПД ФАР в % (в среднем по вариантам опыта): капуста (3,70) > картофель (3,38) > ячмень (3,16) > люпин (2,85) > озимая пшеница (2,36) > свекла столовая (1,85). При этом показатель КПД ФАР больше зависел от степени окультуренности почвы и меньше – от системы удобрения.

Таким образом, с позиций агрономической эффективности, повторное окультуривание подвергшейся деградационному процессу супесчаной дерново-подзолистой почвы до уровня хорошей и высокой степени было оправданным в обоих типах севооборотов. Хотя при этом и в одном, и в другом севообороте присутствовали культуры, слабо реагировавшие или вообще не реагировавшие на повышение степени окультуренности с хорошей до высокой. В целом же прибавки продуктивности от окультуривания почвы в овощекормовом севообороте были на 22-23 % выше. В свою очередь, уменьшение окупаемости минеральных удобрений на хорошо- и высокоокультуренной почвах не следует рассматривать как неизбежность. Скорее это указывает на необходимость более строгой дифференциации их доз с учетом свойств почвы, чего не было предусмотрено методикой исследования.

## 5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОВТОРНОГО ОКУЛЬТУРИВАНИЯ СУПЕСЧАНОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И ЕЁ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПОЛЕВОМ И ОВОЩЕКОРМОВОМ СЕВООБОРОТАХ

Экономическую эффективность любого агротехнического мероприятия принято оценивать путём сравнения стоимости полученной от его применения прибавки урожайности с понесёнными при этом затратами. В частности, при оценке эффективности систем удобрения их затратность определяется стоимостью и расходами по доставке, подготовке к внесению и внесению последних. Кроме того, к понесённым затратам относят затраты по уборке и реализации прибавки урожайности (Баранов, 1979, 1982; Милащенко и др., 1993; Иванов и др., 2002).

К сожалению, пока не решён вопрос с методикой экономической оценки агротехнических мероприятий относительно эффективности их воздействия в направлении повышения окультуренности почвы (расширенного воспроизводства почвенного плодородия) (Милащенко и др., 1993), хотя ни у кого не возникает сомнений относительно более высокой эффективности любых агротехнических мероприятий на хорошо окультуренных почвах. Имеющиеся в литературе сведения указывают на высокую затратность окультуривающих мероприятий. Например, по данным СЗНИИСХ (Небольсин и др., 1997), для повышения уровня содержания в почве подвижного фосфора на 1 мг/кг надо внести (сверх выноса урожаем) в среднем 8 кг/га  $P_2O_5$ , а относительно подвижного калия затраты составят до 12,5 кг/га  $K_2O$ .

До 90-х годов прошлого столетия каждый рубль, вложенный в удобрения, приносил 3-4 рубля чистого дохода (Небольсин и др., 1983). В современных условиях проблема сильно осложнена перекосом цен на промышленную и сельскохозяйственную продукцию. В книге «Научно-производственные основы системы удобрения в Нечерноземной зоне» (Иванов, Иванов, Иванова, 2002) приводятся показатели экономической эффек-

тивности системы удобрения за три ротации 8-польных полевых севооборотов в одном из передовых сельскохозяйственных предприятий Северо-Западного региона, совхозе «Гдовский». В среднем за 24 года рентабельность системы удобрения составила 178 %. Но, когда расчёт проводился в ценах 2001 года, вместо рентабельности получалась убыточность в 5 %. И в настоящее время ситуация не изменилась в лучшую сторону. Экономическая окупаемость удобрений более гарантирована на картофеле и овощных культурах при их возделывании на почвах, сохранивших достаточно высокий уровень окультуренности. К сожалению, площадь таких почв в регионе за последние 20-30 лет резко сократилась.

#### 5.1 Затратность агротехнических мероприятий по повторному окультуриванию супесчаной дерново-подзолистой почвы.

Окультуривание почвы следует рассматривать как коренное комплексное агротехническое мероприятие, требующее больших разовых затрат, окупаемость которых, как правило, растягивается на годы. В условиях отсутствия государственной поддержки землепользователи зачастую расценивают такие затраты как непосильные. Для максимально возможного удешевления стоимости работ в нашем исследовании окультуривание велось на основе недорогих местных удобрений: навоза КРС и птичьего помёта, приобретаемых по цене 100 руб. за 1 т, и доломитовой муки (1500 руб/т). Технологические затраты по их применению, рассчитанные на основании технологической карты, тоже были вполне приемлемы (табл. 35, прил. Ж).

Вполне ожидаемо, к числу наиболее затратных статей относились расходы на ГСМ и амортизацию техники, превысившие стоимость самих удобрений. А в целом трансформация одного гектара среднеокультуренной супесчаной дерново-подзолистой почвы в хорошо окультуренную стоила 81,6 тыс. руб., а в высокоокультуренную – в 2,4 раза больше (197,9 тыс. руб.) Как было показано в разделе 4, второй вариант окультуривания не всегда



Таблица 35 – Затраты на повторное окультуривание и поддержание уровня окультуренности почвы

Степень окультуренности почвы	Структура затрат (над чертой в тыс. руб., под чертой в %)							
	Удобрения	Заработная плата	Амортизация техники	ГСМ	Прочие	Накладные	Отчисления в ГФ	Всего
Исходное окультуривание в 2003-2005 гг. (220 и 540 т/га навоза + 1 и 3 т/га извести)								
Хорошая	<u>23,5</u> 34	<u>7,6</u> 11	<u>12,5</u> 18	<u>13,4</u> 19	<u>5,7</u> 8	<u>4,4</u> 6	<u>2,3</u> 4	<u>69,4</u> 100
Высокая	<u>58,5</u> 34	<u>19,0</u> 11	<u>31,4</u> 18	<u>33,8</u> 20	<u>14,3</u> 8	<u>11,0</u> 6	<u>5,7</u> 3	<u>173,7</u> 100
Поддерживающее окультуривание в 2006-2011 гг. (40 и 80 т/га навоза)								
Хорошая	<u>4,0</u> 33	<u>1,4</u> 11	<u>2,2</u> 18	<u>2,4</u> 20	<u>1,0</u> 8	<u>0,8</u> 6	<u>0,4</u> 3	<u>12,2</u> 100
Высокая	<u>8,0</u> 33	<u>2,7</u> 11	<u>4,5</u> 18	<u>4,7</u> 20	<u>2,0</u> 8	<u>1,5</u> 6	<u>0,8</u> 3	<u>24,2</u> 100
Итого затрат								
Хорошая	<u>27,5</u> 34	<u>9,0</u> 11	<u>14,7</u> 18	<u>15,8</u> 19	<u>6,7</u> 8	<u>5,2</u> 6	<u>2,7</u> 4	<u>81,6</u> 100
Высокая	<u>66,5</u> 34	<u>21,7</u> 11	<u>35,9</u> 18	<u>38,5</u> 19	<u>16,3</u> 8	<u>12,5</u> 6	<u>6,5</u> 4	<u>197,9</u> 100

целесообразен.

## 5.2 Экономическая эффективность использования почв разной окультуренности в системах полевого и овощекормового севооборотов.

Схема нашего опыта позволила оценить экономический эффект самого окультуривания почвы (по разнице показателей вариантов «без удобрений» - табл. 36), эффективность минеральной системы удобрения (сравнением показателей удобренных и неудобренных вариантов по каждому виду окультуренности почвы в отдельности – табл. 37) и, наконец, комплекса мероприятий (сравнением показателей с абсолютным контролем – неудобренной среднеокультуренной почвой – табл. 38). При этом в расчётах технологических затрат использовались цены на минеральные удобрения в годы второй ротации севооборотов: аммиачная селитра – 14 тыс. руб./т, азофоска – 16 тыс. руб./т, хлористый калий – 17,5 тыс. руб./т. Затраты по применению в этой

Таблица 36 – Экономическая эффективность окультуривания почвы  
в зависимости от типа севооборота

Сельскохозяйственная культура	Показатели по видам окультуренности почвы, единицы измерения									
	Окультуренность хорошая					Окультуренность высокая				
	Прибавка урожайности, т/га	Стоимость прибавки, тыс. руб/га	Дополнительные затраты	Условный чистый доход, тыс. руб./га	Рентабельность, %	Прибавка урожайности, т/га	Стоимость прибавки, тыс. руб/га	Дополнительные затраты	Условный чистый доход, тыс. руб./га	Рентабельность, %
<b>Полевой севооборот</b>										
Ячмень	0,64	7,7	7,5	0,2	3	0,97	11,6	17,5	-5,9	-38
Многолетние травы	3,17	14,3	12,8	1,5	12	5,39	24,3	26,6	-2,3	-9
Многолетние травы	1,28	5,8	9,2	-3,4	-37	1,51	6,8	19,3	-12,5	-65
Озимая рожь	1,47	23,5	8,4	15,1	180	2,10	33,6	18,8	14,6	79
Картофель	6,38	76,6	18,6	58,0	312	10,99	131,9	38,6	93,3	242
Однолетние травы	4,37	19,7	16,1	3,6	22	5,27	23,7	28,5	-4,8	-17
Севооборот в целом, з. ед.	8,12	147,5	74,9	72,6	97	11,91	231,9	153,4	78,5	51
<b>Овощекормовой севооборот</b>										
Картофель	6,98	83,8	12,8	71,0	555	12,70	151,8	27,3	124,5	456
Озимая пшеница	1,16	13,9	8,2	5,7	70	2,82	33,8	19,8	14,0	71
Люпин	14,80	18,7	11,2	7,5	67	13,30	17,1	20,4	-3,3	-16
Свёкла столовая	7,63	95,4	26,9	68,5	255	11,87	148,4	47,8	100,6	210
Капуста	50,0	550,0	123,5	426,5	345	52,30	575,3	144,4	430,9	298
Ячмень	1,18	14,2	10,7	3,5	33	1,61	19,3	23,5	-4,2	-18
Севооборот в целом, з. ед.	15,08	776,0	193,3	582,7	301	23,45	945,7	283,2	662,5	234

ротации птичьего помёта отнесены к технологическим и распределены в пропорциях – 70 % на первую и 30 % на вторую культуру.

Затраты на окультуривание почвы (табл. 35) распределялись равными долями между сельскохозяйственными культурами севооборотов, исходя из представления о полной исчерпаемости ресурса окультуренности за две ротации севооборотов (12 лет), то есть по 1/12 части этих затрат (6,8 тыс. руб.) на хорошо окультуренной и 16,5 тыс. руб. – на высокоокультуренной почве).

В результате затратность прибавок урожайности в полевом севообороте возросла на 54 % на хорошо окультуренной почве и на 101 % - на высокоокультуренной, в овощекормовом – на 15 и 37 % соответственно.

При использовании указанной методики распределения затрат на окультуривание почвы даже при отказе от применения удобрений в течение 6 лет уровень рентабельности полевого севооборота может быть оценён как удовлетворительный (51 и 97 %), а овощекормового – как высокий (234 и 301 %). Повышение степени окультуренности почвы со средней до хорошей было экономически оправданным практически для всех сельскохозяйственных культур. Естественно, что лучшие показатели доходности обеспечивали овощные культуры и картофель, у которых в среднем по опыту уровень рентабельности окультуривания составил 334 %. Дальнейшее повышение степени окультуренности почвы до высокой хотя и было в целом экономически оправданным (особенно для овощекормового севооборота), но всё же сопровождалось значительным уменьшением показателя рентабельности (в полевом севообороте почти вдвое), а на посевах ячменя, многолетних и однолетних трав – даже убыточностью от 9 до 65 %.

Информация относительно экономической эффективности непосредственно минеральной системы удобрения (табл. 37), полученная с использованием указанной методики расчётов, вполне согласуется с выводами раздела 4 о снижении их окупаемости по мере повышения степени окультуренности почвы. Так, в условиях полевого севооборота чистый доход за ротацию в среднем по вариантам NPK1 и NPK2 уменьшался со 130 тыс. руб./га на среднеокультуренной почве до 85 тыс. руб. на хорошо окультуренной и 26 тыс. руб. на высокоокультуренной, а показатель рентабельности системы удобрения – со 198 до 82 и 15 % соответственно. В условиях овощекормового севооборота закономерность была аналогичной, то есть уменьшение чистого дохода за ротацию со 179 до 147 и 27 тыс. руб./га, показателя рентабельности – со 180 до 90 и 13 % соответственно. По сути, на высокоокультуренной почве

Таблица 37 – Экономическая эффективность минеральной системы удобрения  
полевого и овощекормового севооборотов

Показатель экономической эффективности, ед. изм.	Вариант	Параметры эффективности по севооборотам и культурам													
		Полевой севооборот							Овощекормовой севооборот						
		ячмень	мн. травы	мн. травы	оз. рожь	картофель	одн. травы	Итого	картофель	оз. пшеница	люпин	свёкла	капуста	ячмень	Итого
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Среднеокультуренная почва															
Прибавка урожайности, т/га	NPK 1	1,48	2,79	1,79	1,38	7,02	2,09	7,95	9,24	0,91	4,01	7,03	5,60	0,66	6,39
	NPK 2	1,97	3,11	3,21	2,05	11,20	3,74	11,86	10,31	0,97	3,99	10,08	-3,87	1,20	6,23
Стоимость прибавки, тыс. руб./га	NPK 1	17,8	12,6	8,1	22,1	84,2	9,4	154,1	110,9	10,9	5,1	87,9	61,6	7,9	284,3
	NPK 2	23,6	14,0	14,4	32,8	134,5	16,8	236,2	123,7	11,6	5,0	126,0	-4,2	11,4	276,5
Дополнительные затраты, тыс. руб./га	NPK 1	7,4	11,1	5,5	6,1	12,8	9,1	52,0	15,8	8,2	9,8	27,2	24,6	5,9	91,5
	NPK 2	9,3	13,0	10,4	11,4	20,1	14,8	79,0	18,6	12,8	14,1	39,5	17,6	9,1	111,7
Условный чистый доход, тыс. руб./га	NPK 1	10,4	1,5	2,6	16,0	71,4	0,3	102,1	95,1	2,7	-4,7	62,7	37,0	2,0	192,8
	NPK 2	14,3	1,0	4,0	21,4	114,4	2,0	157,2	105,1	-1,2	-9,1	86,5	-21,8	5,3	164,8
Рентабельность, %	NPK 1	139	13	46	263	560	3	196	604	34	-48	223	150	34	211
	NPK 2	155	8	39	188	568	14	199	565	-9	-65	219	-124	58	148
Хорошо окультуренная почва															
Прибавка урожайности, т/га	NPK 1	1,46	0	0,53	0,88	7,95	0,78	4,49	2,34	0,83	4,03	8,64	7,90	0,04	4,59
	NPK 2	1,30	0,05	2,14	1,55	14,69	1,70	8,47	7,71	1,30	8,98	14,12	6,80	0,31	7,97
Стоимость прибавки, тыс. руб./га	NPK 1	17,5	0	2,4	14,1	95,4	3,5	132,9	28,1	10,0	5,1	108,0	86,9	0,5	239,4
	NPK 2	15,6	0,2	9,6	24,8	176,3	7,7	234,2	92,5	15,6	11,3	176,5	74,8	3,7	372,6
Дополнительные затраты, тыс. руб./га	NPK 1	16,0	12,6	10,1	12,5	19,8	13,7	84,7	21,4	14,9	16,7	39,5	35,2	13,3	141,0
	NPK 2	18,0	14,0	15,7	17,9	28,9	18,2	112,7	23,2	20,0	22,5	57,5	37,7	16,8	177,7
Условный чистый доход, тыс. руб./га	NPK 1	1,5	-12,6	-7,7	1,6	75,6	-10,2	48,2	6,7	-4,9	-11,6	68,5	51,7	-12,8	98,4
	NPK 2	-2,4	-13,8	-6,1	6,9	147,4	-10,5	121,5	69,3	-4,4	-11,2	119,0	37,1	-13,1	194,9
Рентабельность, %	NPK 1	9	-100	-76	13	382	-74	57	31	-33	-69	173	147	-96	70
	NPK 2	-13	-99	-39	39	510	-58	108	299	-22	-50	207	98	-78	110

Продолжение табл. 33

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Высокоокультуренная почва															
Прибавка урожайности, т/га	NPK 1	1,18	0,32	0,57	0,97	9,24	0,67	5,24	1,47	0,22	5,95	8,64	4,30	0,11	3,78
	NPK 2	1,43	1,81	1,28	1,15	13,71	1,10	8,10	6,02	0,60	4,77	12,45	1,70	0,16	5,34
Стоимость прибавки, тыс. руб./га	NPK 1	14,2	1,4	2,6	15,5	110,9	3,0	147,6	17,6	2,6	7,5	108,0	47,3	1,3	184,3
	NPK 2	17,2	8,1	5,8	18,4	164,5	5,0	218,9	72,2	7,2	6,0	155,6	18,7	1,9	261,6
Дополнительные затраты, тыс. руб./га	NPK 1	25,4	23,0	19,9	22,3	30,5	23,1	144,2	25,6	13,9	27,0	49,0	36,6	23,1	175,2
	NPK 2	27,8	27,5	23,6	27,1	37,8	26,6	170,5	31,4	28,9	31,0	63,0	35,7	26,4	216,4
Условный чистый доход, тыс. руб./га	NPK 1	-11,2	-21,6	-17,3	-6,8	80,4	-20,1	3,4	-8,0	-11,3	-19,5	59,0	10,7	-21,8	9,1
	NPK 2	-10,6	-19,4	-17,8	-8,7	126,7	-21,6	48,4	40,8	-21,7	-25,0	92,6	-17,0	-24,5	45,2
Рентабельность, %	NPK 1	-44	-94	-87	-30	264	-87	2	-31	-81	-72	120	29	-94	5
	NPK 2	-38	-71	-75	-32	335	-81	28	130	-75	-81	147	-48	-93	21

безубыточность системы удобрения обеспечивалась только за счёт картофеля и столовой свёклы.

Экономическая же эффективность всего изучаемого комплекса факторов воспроизводства почвенного плодородия характеризовалась совершенно иными абсолютными и относительными показателями (табл. 38).

Во-первых, произошло увеличение суммы чистого дохода за ротацию полевого севооборота с 72,6 до 190,8 тыс. руб./га (в среднем по двум вариантам системы удобрения, то есть в 2,6 раза, овощекормового – с 582,7 до 771,1 тыс. руб./га (в 1,3 раза). Показатель рентабельности полевого севооборота увеличился с 97 до 181 %, овощекормового уменьшился с 301 до 252 %. На высококультуренной почве чистый доход за ротацию полевого севооборота возрос с 78,5 до 225,4 тыс. руб./га (в 2,9 раза), овощекормового – с 662,5 до 803,3 тыс. руб./га (в 1,2 раза). Рентабельность агромероприятий в условиях полевого севооборота увеличилась с 51 до 111 %, а в условиях овощекормового изменилась незначительно. Таким образом, применение минеральных удобрений на окультуренных до хорошей и высокой степени почвах повысило доходность гектара севооборотной площади в среднем в 2 раза. А это означает возможность соответствующего ускорения окупаемости капитальных вложений в окультуривание земель.

Во-вторых, несмотря на большие относительные прибавки урожайности на исходной среднекультуренной почве, чистый доход от применения удобрений на хорошо окультуренной почве был в среднем выше в 3 раза, на высококультуренной – в 3,2 раза. При этом повышение доз минеральных удобрений со средних до повышенных почти всегда сопровождалось увеличением чистого дохода: в среднем по двум севооборотам на хорошо окультуренной почве с 448,8 до 513,1 тыс. руб./га, на высококультуренной – с 495,5 до 533,2 тыс. руб./га. И только на среднекультуренной почве овощекормового севооборота увеличение доз удобрений привело к уменьшению доходности. Конечно, эта закономерность существенно корректировалась

Таблица 38 – Влияние комплекса агротехнических мероприятий на экономическую эффективность полевого и овоще-кормового севооборотов

Показатель экономической эффективности, ед. изм.	Вариант	Параметры эффективности по культурам и севооборотам													
		Полевой севооборот							Овощекормовой севооборот						
		ячмень	мн. травы	мн. травы	оз. рожь	картофель	одн. травы	Итого	картофель	оз. пшеница	люпин	свёкла	капуста	ячмень	Итого
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Среднеокультуренная почва															
Прибавка урожайности, т/га	NPK 1	1,48	2,79	1,79	1,38	7,02	2,09	7,95	9,24	0,91	4,01	7,03	5,60	0,66	6,39
	NPK 2	1,97	3,11	3,21	2,05	11,20	3,74	11,86	10,31	0,97	3,99	10,08	-3,87	1,20	6,23
Стоимость прибавки, тыс. руб./га	NPK 1	17,8	12,6	8,1	22,1	84,2	9,4	154,1	110,9	10,9	5,1	87,9	61,6	7,9	284,3
	NPK 2	23,6	14,0	14,4	32,8	134,5	16,8	236,2	123,7	11,6	5,0	126,0	-4,2	14,4	276,5
Дополнительные затраты, тыс. руб./га	NPK 1	7,4	11,1	5,5	6,1	12,8	9,1	52,0	15,8	8,2	9,8	27,2	24,6	5,9	91,5
	NPK 2	9,3	13,0	10,4	11,4	20,1	14,8	79,0	18,6	12,8	14,1	39,5	17,6	9,1	111,7
Условный чистый доход, тыс. руб./га	NPK 1	10,4	1,5	2,6	16,0	71,4	0,3	102,1	95,1	2,7	-4,7	62,7	37,0	2,0	192,8
	NPK 2	14,3	1,0	4,0	21,4	114,4	2,0	157,2	105,1	-1,2	-9,1	86,5	-21,8	5,3	164,8
Рентабельность, %	NPK 1	139	13	46	263	560	3	196	604	34	-48	223	150	34	211
	NPK 2	155	8	39	188	568	14	199	565	-9	-65	219	-124	58	148
Хорошо окультуренная почва															
Прибавка урожайности, т/га	NPK 1	2,10	2,19	1,81	2,35	14,33	5,15	12,61	9,32	1,99	18,82	16,27	57,90	1,22	19,67
	NPK 2	1,94	3,22	3,42	3,02	21,07	6,07	16,59	14,69	2,46	23,77	21,75	56,80	1,49	23,05
Стоимость прибавки, тыс. руб./га	NPK 1	25,2	9,9	8,1	37,6	172,0	23,2	275,9	111,8	23,9	18,7	203,4	636,9	14,6	1009,3
	NPK 2	23,3	14,5	15,4	48,3	252,8	27,3	381,6	176,3	29,5	23,8	271,9	624,8	17,9	1144,2
Дополнительные затраты, тыс. руб./га	NPK 1	14,9	16,8	12,4	13,9	32,2	22,7	102,8	22,6	16,2	21,0	58,3	150,7	16,0	284,8
	NPK 2	16,0	20,0	17,6	19,3	41,8	27,0	129,7	29,2	21,3	26,8	77,1	153,4	18,8	326,6
Условный чистый доход, тыс. руб./га	NPK 1	10,3	-6,9	-4,3	23,7	139,8	0,5	173,1	89,2	7,7	-2,3	145,1	486,2	-1,4	724,5
	NPK 2	7,3	-5,5	-2,2	29,0	211,0	0,3	208,5	147,1	8,2	-3,0	194,8	471,4	-0,9	817,6
Рентабельность, %	NPK 1	69	-41	-35	171	434	2	168	395	48	-11	249	323	-9	254
	NPK 2	46	-28	-13	150	505	1	194	504	38	-11	253	307	-5	250

Продолжение табл. 34

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Высококультуренная почва															
Прибавка урожайности, т/га	NPK 1	2,15	5,71	2,08	3,07	20,23	5,94	17,15	14,12	3,04	19,18	20,51	56,60	1,72	22,93
	NPK 2	2,40	7,20	2,79	3,25	24,70	6,37	20,01	18,67	3,42	18,00	24,32	51,00	1,77	24,55
Стоимость прибавки, тыс. руб./га	NPK 1	25,8	25,7	9,4	49,1	242,8	26,7	379,5	169,4	36,5	24,2	256,4	622,6	20,6	1129,7
	NPK 2	28,8	32,4	12,6	52,0	296,4	28,7	450,8	224,0	41,0	22,8	304,0	594,0	21,2	1207,0
Дополнительные затраты, тыс. руб./га	NPK 1	24,7	33,1	22,6	24,4	55,3	34,9	185,5	36,4	27,2	30,8	55,8	153,7	28,8	332,7
	NPK 2	26,2	37,2	26,1	29,2	60,9	38,3	209,0	42,3	32,1	34,8	93,6	163,2	31,5	397,5
Условный чистый доход, тыс. руб./га	NPK 1	1,1	-7,4	-13,2	24,7	187,5	-8,2	194,0	133,0	9,3	-6,6	200,6	468,9	-8,2	797,0
	NPK 2	2,6	-4,8	-13,5	19,9	235,5	-9,6	256,8	181,7	7,9	-12,0	210,4	430,8	-10,3	809,5
Рентабельность, %	NPK 1	4	-22	-58	101	356	-23	105	365	34	-21	359	305	-28	240
	NPK 2	10	-13	-52	78	387	-25	116	430	28	-34	225	264	-33	204



биологическими особенностями сельскохозяйственных культур и метеоусловиями вегетационных периодов.

В заключение целесообразно привести результаты расчётов по срокам окупаемости затрат на повторное окультуривание супесчаной дерново-подзолистой почвы, то есть 81,6 тыс. руб./га на трансформацию в хорошо окультуренную и 197,9 тыс. руб./га – в высокоокультуренную.

Вариант 1 – использование окультуренных почв без применения удобрений:

В этом случае при среднегодовом условном чистом доходе (без учёта затрат на окультуривание) на хорошо окультуренной почве полевого севооборота 18,3 тыс. руб./га, а овощекормового – 103,9 тыс. руб./га; на высокоокультуренной – 29,6 и 126,9 тыс. руб./га соответственно, затраты окупятся: на формирование хорошо окультуренной почвы для полевого севооборота за 4,3 года, овощекормового – менее чем за год; высокоокультуренной – за 6,7 и 1,6 года.

Вариант 2 – использование окультуренных почв на фоне средних доз удобрений:

Тогда среднегодовой чистый доход (без учёта затрат на окультуривание) возрастает на хорошо окультуренной почве полевого севооборота до 35,7 тыс. руб./га, овощекормового – до 127,6 тыс. руб./га; на высокоокультуренной – до 48,8 и 149,3 тыс. руб./га соответственно, а затраты окупаются: на формирование хорошо окультуренной почвы для полевого севооборота за 2,3 года, для овощекормового – менее чем за год; высокоокультуренной за 4 и 1,3 года.

Вариант 3 – использование окультуренных почв на фоне повышенных доз удобрений:

В этом варианте среднегодовой чистый доход (без учёта затрат на окультуривание) составлял на хорошо окультуренной почве полевого севооборота 41,6 тыс. руб./га, овощекормового – 143,1 тыс. руб./га; на высокоокультуренной – 59,3 и 151,4 тыс. руб./га соответственно. Тогда срок оку-

паемости затрат на формирование хорошо окультуренной почвы для полевого севооборота уменьшается до 2 лет (для овощекормового – менее года); на формирование высокоокультуренной почвы – до 3,3 и 1,3 лет соответственно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведённого анализа результатов длительного полевого опыта можно сделать выводы:

1. Повторное окультуривание подвергшейся деградационному процессу прежде хорошо окультуренной супесчаной дерново-подзолистой почвы с последующим её 12-летним использованием в системе полевого и овощекормового севооборотов сопровождалось трансформацией почвообразовательного процесса с неодинаковым (в зависимости от варианта опыта) изменением морфологических, физических и агрохимических свойств, а также продуктивности севооборотов.

2. Основным фактором изменения морфологических свойств почвенного профиля, наблюдаемого по завершению первой ротации севооборотов, стало интенсивное и гиперинтенсивное применение органических удобрений на фоне поддерживающего известкования. Оно выражалось увеличением мощности обогащённых гумусом горизонтов  $A_{\text{пах.}}$  и  $A_1A_2$  на 3-5 см, потемнением окраски и улучшением структурного состояния пахотного слоя почвы, опусканием нижней границы горизонтов  $A_1A_2$  и  $A_2B$  на 2-5 см. Влияние типа севооборота и минеральных удобрений регистрировалось позднее – в конце второй ротации. В полевом севообороте с его 50%-й долей трав в структуре посевов имело место преобразование переходного с признаками элювирования горизонта  $A_1A_2$  в аккумулятивный  $A_1$ . В овощекормовом севообороте на фоне интенсивной обработки почвы и более высоких доз минеральных удобрений элювиальные процессы развивались интенсивнее, что выразилось увеличением до двух раз мощности горизонтов  $A_1A_2$  и  $A_2B$ .

3. Интенсивное окультуривание почвы существенно оптимизировало даже на весьма консервативные, агрофизические, свойства. К концу первой ротации севооборотов среднее содержание физической глины в горизонтах  $A_{\text{пах.}} + A_1A_2$  увеличилось с 15,3 до 18,3 %. Но, в последующие годы, в условиях промывного водного режима и сократившегося количества применяемых органических удобрений, произошло уменьшение её доли в грануло-

метрическом составе указанных горизонтов до 16,3%. Аналогичной была и динамика изменений общих физических и водно-физических свойств. Пик их позитивных изменений был зарегистрирован в конце первой ротации севооборотов, хотя и через 12 лет плотность хорошо- и высокоокультуренной почв в пределах пахотного слоя была меньше на 0,1-0,13 г/см<sup>3</sup>, а полевая влагёмкость – больше на 3,8-5,9 %.

4. Исходная супесчаная дерново-позолистая почва характеризовалась непрочной комковато-порошистой структурой с удовлетворительной оструктуренностью и неудовлетворительной водопрочностью. Положительное влияние на неё оказывало возделывание трав и снижение интенсивности обработки почвы в полевом севообороте, применение минеральных удобрений и в большей степени – ускоренное окультуривание. Относительное превосходство хорошо- и высокоокультуренной почв перед среднеокультуренной к концу первой ротации достигло по доле агрономически ценных агрегатов 44 и 61 %, коэффициенту структурности – на 144 и 267 %, водопрочности – на 61 и 84 %, критерию водопрочности – на 111 и 271 %, соответственно. В конце опыта его уровень снизился до 28 и 49 %, 78 и 178 %, 66 и 98 %, 110 и 187 % соответственно, но оба вида почвы продолжали обладать хорошей комковато-зернистой структурой и удовлетворительной водопрочностью агрегатов.

5. Значительные положительные изменения физико-химических свойств окультуренных до хорошей и высокой степени почв регистрировались уже в 2006 году, то есть непосредственно после внесения навоза и извести: рН<sub>KCl</sub> почвы пахотного слоя увеличился с 5,61 до 6,22 - 6,37, степень насыщенности основаниями – с 69 до 82-88%, исчезли подвижные катионы алюминия. Близкими были показатели трансформации свойств и подпахотного горизонта. В течение 12 последующих лет физико-химические свойства исходной среднеокультуренной почвы на фоне отрицательного баланса оснований сильно ухудшились, в то время как у хорошо- и высокоокультуренных почв за счёт разового применения высоких доз птичьего помёта изменились

незначительно ( $pH_{КС1}$  уменьшился на 0,18 ед., степень насыщенности основаниями – на 4%). Ни средние, ни повышенные дозы минеральных удобрений на эти свойства не повлияли.

6. Следствием ускоренного окультуривания почвы стало значительное улучшение её важнейших агрохимических свойств: у хорошо окультуренной – повышение содержания органического вещества в среднем на 0,72%, подвижных соединений фосфора – на 53, калия – на 254 мг/кг; у высокоокультуренной – на 0,90%, 178 и 492 мг/кг соответственно. Но использованная в опыте система удобрения не обеспечила сохранения указанного уровня большинства показателей (за исключением содержания подвижного фосфора в хорошо окультуренной и органического вещества – в высокоокультуренной почвах). Особенно критична ситуация с подвижными соединениями калия, содержание которых уменьшилось в 2,4 и 2,2 раза. Установленные закономерности практически не зависели от типа севооборота.

7. Оптимизация водно-воздушного и питательного режимов дерново-подзолистой почвы при окультуривании до хорошего и высокого уровня сопровождалась повышением агрономической эффективности введённых на них севооборотов: продуктивности 1 га на 34 и 50 % в полевом и на 67 и 86 % - в овощекормовом севооборотах, КПД ФАР с 2,04 до 2,74 и 3,01 % и с 1,74 до 2,85 и 3,19 % соответственно. Минеральная система удобрения обеспечивала дополнительное повышение продуктивности единицы севооборотной площади на 19 и 15 % в полевом, 17 и 10 % - в овощекормовом севооборотах; КПД ФАР – до 3,19 и 3,44 %, 3,34 и 3,52 % соответственно.

8. Окупаемость минеральных удобрений прибавками урожайности на хорошо- и высокоокультуренной почвах снижалась, в сравнении со среднеокультуренной, в 1,9 и 2,1 раза в полевом и в 1,1 и 1,6 раза - в овощекормовом севообороте. Это в значительной мере обусловлено применением на первых почвах органических удобрений, но, с другой стороны, указывает на необходимость большего внимания к установлению доз минеральных удобрений с учётом этого фактора.

9. Сельскохозяйственные культуры в обоих типах севооборотов по-разному реагировали на повышение степени окультуренности почвы и доз удобрений. Причём, уровень отзывчивости не всегда коррелировал с показателями выноса элементов питания культурой, поскольку в условиях севооборота сильное влияние оказывали периодически применяемые органические удобрения, а также значительно отличающиеся по годам погодные условия вегетационного периода, во многом определяющие фитосанитарное состояние посевов.

10. Коэффициент полезного действия фотосинтетически активной радиации определялся физиологическими особенностями сельскохозяйственных растений, почвенными условиями и системой удобрения. Убывающий ряд средних по вариантам опыта показателей КПД ФАР (%), по данным второй ротации севооборотов, сформировался следующим образом: озимая рожь (4,26) > капуста белокачанная (3,70) > многолетние травы (3,27) > картофель (3,12) > однолетние травы и люпин (2,86) = ячмень (2,86) > озимая пшеница (2,36) > столовая свёкла (1,85). Среди изучаемых факторов наибольшее влияние на КПД ФАР оказывал уровень окультуренности почвы, значительно меньшее (почти в три раза) – система удобрения.

11. Затратность повторного окультуривания подвергшейся деградационным процессам супесчаной дерново-подзолистой почвы даже на базе недорогих местных мелиорантов сильно изменялась в зависимости от запланированных показателей трансформации её свойств. Преобразование одного гектара исходной среднеокультуренной почвы в хорошо окультуренную стоило 81,6 тыс. руб. и на фоне минеральной системы удобрения окупалось в полевом севообороте за 2-2,3 года, в овощекормовом – менее чем за год. Для полевых севооборотов такой уровень окультуренности почвы можно считать достаточным. Формирование высокоокультуренной почвы обеспечивалось затратами 179,9 тыс. руб./га и удлиняло срок их окупаемости в 1,7 раза.

12. Применение на повторно окультуренной почве минеральной системы удобрения повышало доходность 1 га севооборотной площади в

среднем в два раза, а относительно исходной среднеокультуренной почвы – в 3,1 раза. При этом сохраняется резерв к дальнейшему увеличению показателей рентабельности удобрений за счёт дифференциации их доз с учётом изменения свойств почвы в результате окультуривания.

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. В современных условиях Северо-Запада РФ обосновано повторное ускоренное восстановление плодородия пахотных дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава до хорошо окультуренного уровня и его воспроизводство за счёт поддерживающего известкования и среднегодового внесения 20-25 т/га органических удобрений. Оно позволяет повысить продуктивность полевого и овощекормового севооборотов на 34 и 67 % при рентабельности 97 и 301 % и среднегодовом условном чистом доходе в 12,1 и 97,1 тыс. руб/га. Оно является одной из реальных основ возрождения устойчивого сельскохозяйственного производства и обеспечения региональной продовольственной безопасности. Для этого необходимо использовать местные ресурсы относительно недорогих органических удобрений и известковых мелиорантов.

2. Ускоренное окультуривание деградированной легкой дерново-подзолистой почвы до высокого уровня на основе поддерживающего известкования и среднегодового внесения 50-60 т/га органических удобрений, может быть экономически эффективным и экологически безопасным при наличии соответствующих ресурсов на легких дерново-подзолистых почвах в интенсивных овощных и овощекормовых севооборотах, обеспечивая среднегодовой уровень условного чистого дохода в 110,4 тыс. руб/га.

3. Для достижения максимальной агроэкономической эффективности на повторно окультуренных легких дерново-подзолистых почвах необходима минеральная (преимущественно, азотно-калийная) система удобрения, учитывающая фактические свойства почвы и биологические потребности отдельных культур. Она позволяет повысить уровень условного чистого дохода в полевом и овоще-кормвом севооборотах с 12,1 и 97,1 до 28,9-34,8 и 120,8-136,3 тыс. руб/га соответственно.



## ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Перспективы дальнейшей разработки темы исследования видятся в расширении списка исходных объектов окультуривания с учётом реальной ситуации сегодняшнего дня, а это пахотные почвы разного гранулометрического состава и разного уровня деградации в условиях экономического кризиса в сельском хозяйстве.

В более детальном изучении нуждается проблема повышения экономической эффективности окультуривания как за счёт использования разнообразных местных мелиорантов, так и совершенствования технологических решений на окультуренных почвах. В частности, это касается научного обоснования дозирования удобрений, которое требует более строгой увязки с трансформацией свойств почвы вследствие её ускоренного окультуривания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеева, Т.Н. Эколого-агрохимические аспекты применения фосфорных удобрений на аллювиальных луговых нейтральных почвах [Текст] / Т.Н. Авдеева, Л.И. Кораблева // Тез. докл. 2 съезда общества почвоведов. - М.: Изд. ВНИИЦ лесресурс, 1996. С. 306-307.
2. Авдонин, Н.С. Влияние свойств почв и удобрений на качество растений [Текст] / Под ред. Н.С. Авдонина. М.: Изд. МГУ, 1966. 183 с.
3. Авдонин, Н.С. Научные основы применения удобрений [Текст] / Н.С. Авдонин. - М.: Колос, 1972. 320 с.
4. Авдонин, Н.С. Повышение плодородия кислых почв [Текст] / Н.С. Авдонин. - М.: Колос, 1969. 304 с.
5. Александрова, Л.Н. Изучение процессов гумификации растительных остатков и природы гумусовых веществ [Текст] / Л.Н. Александрова // Почвоведение. 1972. № 7. С. 37-45.
6. Александрова, Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации [Текст] / Л.Н. Александрова. Л.: Наука, 1980. 287 с.
7. Алферов, А.А. Эффективность применения эндофитных биопрепаратов и азотного удобрения [Текст] / А.А. Алферов, Л.С. Чернова, А.А. Завалин, В.К. Чеботарь // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 5. С. 21-24.
8. Анспок, П.И. Микроудобрения [Текст] / П.И. Анспок. Л.: Агропромиздат, 1990. 272 с.
9. Архипов, М.В. Методологические и информационно-технологические основы развития кормопроизводства в Северо-Западном регионе РФ [Текст] / М.В. Архипов, Т.А. Данилова, С.М. Сеницына, А.И. Иванов, Ю.А. Тюкалов, Е.Н. Пасынкова. СПб-Пушкин, 2015. 184 с.
10. Архипов, М.В. Научные основы эффективного использования агроресурсного потенциала Северо-Запада России [Текст] / М.В. Архипов, Т.А. Да-

нилова, С.М. Сеницына, А.И. Иванов, Ю.А. Тюкалов, Е.Н. Пасынкова. СПб-Пушкин, 2018. 135 с.

11. Архипов, М.В. Оценка биопотенциала производства продовольствия в Северо-Западном регионе России [Текст] / М.В. Архипов, А.И. Иванов, Т.А. Данилова, С.М. Сеницына и др. СПб-Пушкин, 2016. 136 с.

12. Бабарина, Э.А. Плодородие почв при систематическом применении удобрений [Текст] / Э. А. Бабарина. М.: Колос, 1983. 224 с.

13. Байбеков, Р.Ф. Влияние на развитие дернового процесса высоких доз органических удобрений [Текст] / Р.Ф. Байбеков, В.А. Седых, В.И. Савич, Н.Л. Поветкина // Плодородие. 2012. № 4. С. 8-10.

14. Балабко, П.Н. Значение гумата и Биоуд-1 в технологии выращивания картофеля на дерново-подзолистой почве [Текст] / П.Н. Балабко, А.М. Головков, Т.И. Хуснетдинова, Н.Ф. Черкашина, Д.В. Карпова, Л.К. Батурина // Проблемы агрохимии и экологии. 2010. № 2. С. 44-49.

15. Балашов, Е.В. Нормативы оценки оптимизации физических параметров почв, обеспечение, совершенствование технологий возделывания сельскохозяйственных культур в полевых и регулируемых условиях. Методические рекомендации [Текст] / Е.В. Балашов, К.Г. Моисеев. Санкт-Петербург, 2009. 22 с.

16. Барановский, И.Н. Влияние бесподстилочного навоза и помёта на гумусовый режим дерново-подзолистой почвы и её продуктивность [Текст] / И.Н. Барановский, А.В. Павлоцкий // Плодородие. 2010. № 6(57). С. 12-14.

17. Барановский, И.Н. Роль органических удобрений в плодородии дерново-подзолистых почв и урожайности сельскохозяйственных культур на примере Центрального района Нечернозёмной зоны России [Текст] / И.Н. Барановский. Дисс. ... докт. с.-х. наук. – 1995. 506 с.

18. Барановский, И.Н. Эффективность сапропелей на дерново-подзолистой почве в звене севооборота [Текст] / И.Н. Барановский, Н.Г. Ковалёв // Плодородие. 2012. № 4. С. 16-18.

19. Белоус, Н.М. Повышение плодородия песчаных почв [Текст] / Н.М.

Белоус. Москва, 1997. 192 с.

20. Белоус, Н.М. Продуктивность и качество клубней картофеля при различных системах удобрения [Текст] / Н.М. Белоус, Н.К. Симоненко, В.Ф. Шаповалов, В.В. Талызин, Ю.П. Кондрашов // Плодородие. 2009. № 5(50). С. 13-15.

21. Белоус, Н.М. Продуктивность пашни и реабилитация песчаных почв [Текст] / Н.М. Белоус, В.Ф. Шаповалов. Брянск, 2006. 432 с.

22. Белоус, Н.М. Эффективность экологизации безопасного применения органических удобрений [Текст] / Н.М. Белоус // Химия в сельском хозяйстве. – 1996. № 3. С. 10-11.

23. Бельченко, С.А. Влияние систем удобрения на химические свойства дерново-подзолистой песчаной почвы [Текст] / С. А. Бельченко // Вестник ОрёлГАУ. 2012. № 1. С. 22-23.

24. Бирюкова, О.Н. Содержание и состав гумуса в основных типах почв России [Текст] / О.Н. Бирюков, Д.С. Орлов // Почвоведение. 2004. № 2. С. 171-188.

25. Битюцкий, Н.П. Действие синтетических комплексонов и комплексоноватов на химический состав растений [Текст] / Н.П. Битюцкий, А.С. Кащенко, В.П. Козев // Агрехимия. 1991. № 10. С. 99-107.

26. Благовидов, Н.Л. Почвы Ленинградской области [Текст] / Н.Л. Благовидов. Л.: Лениздат, 1962. 133 с.

27. Благовидов, Н.Л. Сущность окультуривания подзолистых почв [Текст] / Н. Л. Благовидов // Почвоведение. 1954. №2. С. 46-60.

28. Борисов, В.А. Система удобрения овощных культур [Текст] / В.А. Борисов. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. 392 с.

29. Бровкин, В.И. Влияние удобрений на продуктивность культур и свойства почвы во второй ротации зернового севооборота [Текст] / В.И. Бровкин, О.Н. Караева // Агрехимия. 1993. № 2. С. 50-58.

30. Булатова, Н.В. Плодородие дерново-подзолистой почвы и урожайность многолетних трав при длительном применении минеральных удобрений на

фоне известкования [Текст] / Н.В. Булатова, Н.В. Регорчук // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 5 (60). С. 28-32

31. Вадюнина, А.Ф. Методы исследования физических свойств почв [Текст] / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. М.: Агропромиздпт, 1986. 416 с.

32. Витковская, С. Е. Изменение строения профиля и агрохимических параметров дерново-подзолистой почвы при окультуривании [Текст] / С.Е. Витковская, А.И. Иванов, П.А. Филиппов // Агрохимия. 2014. №7. С. 9-16.

33. Волкова, Е.Н. Эффективность различных доз азотных удобрений и известкования на дерново-подзолистой почве [Текст] / Е.Н. Волкова, Н.А. Кириллов. Барнаул: Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2009. С. 16-19.

34. Воробейков, Г.А. Микроорганизмы в агробиотехнологиях и защите природной среды [Текст] / Г.А. Воробейков, В.Н. Бредихин. СПб.: Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, 2018. 219 с.

35. Воробьёв, В.А. Агроэкологические аспекты природно-антропогенной трансформации калийного состояния дерново-подзолистых почв Северо-Запада России [Текст] / В. А. Воробьёв. Дисс. на соиск.... докт. с.-х. наук. Великие Луки: ВГСХА, 2016. 272 с.

36. Воробьёв, В.А. Современные деградационные процессы в хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах [Текст] / А. И. Иванов, В. А. Воробьёв, Ж.А. Иванова // Проблемы агрохимии и экологии. 2015. № 3. С. 15-19.

37. Гагарина, Э.И. Почвы и почвенный покров Северо-Запада России [Текст] / Э.И. Гагарина, Н.Н. Матинян, Л.С. Счастливая, Г.А. Касаткина. СПб.: Изд. С.-Петербур. ун-та, 1995. 224 с.

38. Ганжара, Н. Ф. Практикум по почвоведению [Текст] / Н.Ф. Ганжара, Б.А. Борисов, Р.Ф. Байбеков. Москва. 2002. 280 с.

39. Глинка, К.Д. Почвоведение [Текст] / К.Д. Глинка. М.-Л.:Сельхозгиз, 1931. 612 с.

40. Глобус, А.М. Информативность основной гидрофизической характеристики почвы [Текст] / А.М. Глобус // Почвоведение. 2001. № 3. С. 315-319.
41. Глобус, А.М. Плодородие почв, агрофизика и опытное дело [Текст] / А.М. Глобус. Современные проблемы опытного дела. СПб.: АФИ, 2000. С. 68-73.
42. Гомонова, Н.Н. Динамика кислотно-основных свойств и кальциевого режима дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений [Текст] / Н.Н. Гомонова, В.Г. Минеев // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2012. № 3. С. 47-55.
43. Гудкова, Н.П. Научные основы размещения льна-долгунца в севооборотах южной части Северо-Западного района Российской Федерации [Текст] / Н.П. Гудкова. Дисс. ... докт. с.-х. наук. Великие Луки, 1999. 399 с.
44. Гулюк, Г.Г. Актуальные вопросы развития мелиорации в Нечерноземье [Текст] / А.И. Иванов, Г.Г. Гулюк, Ю.Г. Янко // Мелиорация и водное хозяйство. 2020. № 3. С. 5-13.
45. Державин, Л.М. Методическое руководство по проектированию применения удобрений в технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия [Текст] / Л.М. Державин – М.: Минсельхоз РФ, РАСХН. 2008. 392 с.
46. Державин, Л.М. Химизация земледелия в СССР [Текст] / Л.М. Державин // Химия в сельском хозяйстве. 1983. №6. С. 3-9.
47. Дерюгин, И.П. Агрохимическое обоснование оптимальных параметров содержания в почве подвижных форм фосфора и калия и оптимизация доз фосфорных и калийных удобрений на дерново-подзолистых почвах [Текст] / И.П. Дерюгин, Н.А. Кирпичников, В.В. Прокошев // Агрохимия. 1995. № 2. С. 3-8.
48. Дозорцева, Н.В. Влияние степени обеспеченности дерново-подзолистой почвы фосфором и калием на эффективность подкормок и урожай озимой пшеницы [Текст] / Н.В. Дозорцева // Бюл. ВИУА. 1991. № 103. С. 26-31.

49. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2019 году [Текст]. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. 404 с.
50. Долотов, В.А. О принципах классификации пахотных почв [Текст] / В.А. Долотов // Почвоведение. 1965. №8. С. 55-62.
51. Донских, И.Н. Групповой и фракционный состав гумуса дерново-подзолистой суглинистой почвы при различных системах удобрения [Текст] / И.Н. Донских, А.В. Назарова, О. Эвани // Агрохимия. 1997. № 5. С. 20-27.
52. Донских, И.Н. Почвенные режимы в освоенных низинных торфяных почвах Северо-Запада РСФСР [Текст] / И.Н. Донских. Автореф. дисс. ...доктора с.-х. наук. Л., Пушкин, 1982. 51 с.
53. Донских, И.Н. Режим влажности низинных освоенных торфяных почв, осушенных закрытым дренажем [Текст] / И.Н. Донских, А.И. Иванова, В.И. Шаповалов / Гумус и почвообразование. Сборник научных работ Санкт-Петербургского Аграрного университета. 2002. С. 72-100.
54. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Изд. Альянс, 2014. 351 с.
55. Драганская, М.Г. Фосфатный режим дерново-подзолистой песчаной почвы на фоне разных систем удобрения [Текст] / М.Г. Драганская, Н.М. Белоус // Проблемы агрохимии и экологии. 2009. № 2. С. 10–13.
56. Дубенок, Н.Н. Мелиорация земель Ленинградской области: проблемы и инновационные пути их решения [Текст] / Н.Н. Дубенок, В.П. Якушев, Ю.Г. Янко // Агрофизика. 2013. № 2(10). С. 2-9.
57. Дубенок, Н.Н. Актуальные вопросы научного и кадрового обеспечения развития мелиорации в Нечерноземье [Текст] / Н.Н. Дубенок, А.И. Иванов, Ю.В. Чесноков, Ю.Г. Янко // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 6. С. 14-19.
58. Дурбажева, Э.С. Агроэкономическая эффективность повышения запасов подвижных форм фосфора и калия в почвах на примере передовых хозяйств [Текст] / Э.С. Дурбажева // Химия в сельском хозяйстве. 1985. №4.

С. 56-58.

59. Егоров, М.А. К вопросу об окультуривании почв [Текст] / М.А. Егоров // Изв. гос. ин-та опытной агрономии. 1929. №5. С. 16-27.
60. Ефимов, В.Н. Деградация хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв [Текст] / В.Н. Ефимов, А.И. Иванов // Российская сельскохозяйственная наука. 2001. № 6. С. 21-23.
61. Ефимов, В.Н. Использование азота почвы и удобрений растениями ячменя на дерново-подзолистых супесчаных почвах разной степени окультуренности [Текст] / В.Н. Ефимов, А.И. Осипов, Е.Ф. Чеснокова // Агрохимия. 1985. № 7. С. 3-7.
62. Ефимов, В.Н. Система удобрения [Текст] / В.Н. Ефимов, И.Н. Донских, В.П. Царенко. М.: Колос, 2002. 320 с.
63. Ефимов, В.Н. Скрытая деградация хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв России [Текст] / В.Н. Ефимов, А.И. Иванов // Агрохимия. 2001. № 6. С. 5-10.
64. Жирных, С.С. Влияние приёмов внесения минеральных удобрений на урожайность сортов озимой пшеницы [Текст] / С.С. Жирных, О.М. Тураева // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2015. № 2-1(16). С. 99-104.
65. Завалин, А.А. Азотное питание и прогноз качества зерновых культур [Текст] / А.А. Завалин, А.В. Пасынков. М.: Издательство ВНИИА. 2007. 208 с.
66. Завалин, А.А. Рекомендации по проектированию интегрированного применения средств химизации в ресурсосберегающих технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия [Текст] / А.А. Завалин и др. М., 2010. 464 с.
67. Завьялова, Н.Е. Влияние возрастающих доз полного минерального удобрения на органическое вещество и азотный режим дерново-подзолистой почвы Предуралья [Текст] / Н.Е. Завьялова, А.И. Косолапова, А.Н. Сторожева // Агрохимия. 2014. № 6. С. 20-28.



68. Завьялова, Н.Е. Влияние минеральных удобрений и извести на содержание активных компонентов в составе органического вещества дерново-подзолистой почвы и урожайность яровой пшеницы [Текст] / Н.Е. Завьялова, Е.М. Митрофанова, И.В. Казакова // Достижения науки и техники АПК. 2013. С. 19-21.
69. Заев, П.П. Общее земледелие с почвоведением [Текст] / П.П. Заев, А.А. Коротков, М.П. Федосеева, З.В. Белова. Л.: «Колос», 1972. 488 с.
70. Зайдельман, Ф.Р. Эколого-мелиоративное почвоведение гумидных ландшафтов [Текст] / Ф.Р. Зайдельман. М.: Росагропромиздат, 1991. 325 с.
71. Захаров, С.А. О культурных почвах и плановом создании их в разных климатических зонах СССР [Текст] / С.А. Захаров // Почвоведение . 1936. № 4. С. 540-561.
72. Иванова, В.Ф. Калийный фонд пахотных почв Псковской области [Текст] / В.Ф. Иванова, И.А. Иванов, А.И. Иванов // Химия в сельском хозяйстве. 1997. № 4. С. 38.
73. Иванова, Ж.А. Агротехнические аспекты реализации биоклиматического потенциала Северо-Запада России [Текст] / А.И. Иванов, А.А. Конашенков, Ж.А. Иванова, В.А. Воробьёв, М.А. Фесенко, Т.А. Данилова, П.А. Филиппов // Агрофизика. 2016. № 2. С. 35-44.
74. Иванова, Ж.А. Влияние ландшафтных условий на свойства почвенного покрова пахотного угодья на пологом склоне озерно-ледниковой равнины [Текст] / А.И. Иванов, Ж.А. Иванова, В.И. Дубовицкая // Российская сельскохозяйственная наука. 2019. №2. С. 39-43.
75. Иванова, Ж.А. Возделывание кормового узколистного люпина на лёгких дерново-подзолистых почвах Северо-Запада России [Текст] / Ж. А. Иванова. Дисс. ... канд. с.-х. наук. Великие Луки. 2003. 146 с.
76. Иванова, Ж.А. Точная система удобрения и оптимизация на её основе агрофизических свойств почвы [Текст] / Ж.А. Иванова, А.А. Конашенков, Е.А. Конашенков // Плодородие. 2020. № 6. С. 36-40.
77. Иванов, А.И. Агроэкологические последствия длительного

использования дефицитных систем удобрения на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах [Текст] / А.И. Иванов, Ж.А. Иванова, Н.А. Цыганова // *Агрохимия*. 2016. № 4. С. 10-17.

78. Иванов, А.И. Агроэкологическое значение окультуривания песчаных дерново-подзолистых почв при загрязнении Pb и Cd [Текст] / А.И. Иванов, П.А. Суханов, Ж.А. Иванова, Т.И. Яковлева // *Агрохимия*. 2019. № 4. С. 70-78

79. Иванов, А.И. Влияние ландшафтных условий на эффективность точной системы удобрения в звене полевого севооборота [Текст] / А.И. Иванов, Ж.А. Иванова, Н.А. Цыганова // *Агрохимия*. 2020. №2. С. 69-76.

80. Иванов, А.И. Влияние окультуренности дерново-подзолистой почвы и её водного режима на эффективность калийных удобрений [Текст] / А.И. Иванов // *Агрохимия*. 1998. № 11. С. 45-48.

81. Иванов, А.И. Влияние различных систем удобрения на микроэлементный состав дерново-подзолистой почвы [Текст] / А.И. Иванов, П.А. Суханов, Е.А. Дымова, В.А. Воробьёв // *Агрохимия*. 2010. № 12. С. 3-9.

82. Иванов, А.И. Влияние системы удобрения на основе сапропеля на свойства дерново-подзолистой почвы и продуктивность овсяницы луговой [Текст] / А.И. Иванов, Ж.А. Иванова, Д.А. Моисеев // *Агрохимия*. 2005. № 7. С. 9-18.

83. Иванов, А.И. Изменение калийного состояния хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы при применении калий-дефицитной системы удобрения [Текст] / А.И. Иванов, И.А. Иванов, В.А. Воробьёв, Е.Г. Лямцева // *Агрохимия*. 2009. № 4. С. 21-26.

84. Иванов, А.И. Использование высокообеспеченных питательными веществами дерново-подзолистых почв [Текст] / А.И. Иванов // *Химия в сельском хозяйстве*. 1991. № 8. С. 83-84.

85. Иванов, А.И. Некоторые закономерности изменения кислотно-основного состояния дерново-подзолистых легкосуглинистых почв при сельскохозяйственном использовании [Текст] / А.И. Иванов // *Агрохимия*. 2000. № 10. С. 28-33.

86. Иванов, А.И. Оптимизация условий питания полевых культур на дерново-подзолистых почвах с высоким содержанием фосфора и калия [Текст] / А.И. Иванов. Автореф. дисс. канд. с.-х. наук. Санкт-Петербург. 1993. 15 с.
87. Иванов, А.И. Особенности методологии полевых исследований на современном этапе [Текст] / А.И. Иванов, Ж.А. Иванова, А.А. Конашенков, П.А. Филиппов // Агрофизика. 2017. № 2. С. 9-19.
88. Иванов, А.И. Особенности применения удобрений на окультуренных почвах [Текст] / А.И. Иванов // Картофель и овощи. 1999. № 2. С. 22-26.
89. Иванов, А.И. Особенности удобрения зерновых на окультуренных дерново-подзолистых почвах с высокими запасами фосфора и калия [Текст] / А.И. Иванов // Зерновые культуры. 1998. № 3. С. 20-21.
90. Иванов, А.И. Отзывчивость картофеля на удобрение и потери урожая от фитофтороза в условиях Северо-Запада России [Текст] / А.И. Иванов, Ж.А. Иванова, О.И. Якушева, П.А. Филиппов // Картофель и овощи. 2019. № 8. С. 23-26.
91. Иванов, А.И. О целесообразности использования нового органоминерального удобрения на основе птичьего помёта в полевом севообороте на дерново-подзолистой почве [Текст] / А.И. Иванов, Ж.А. Иванова, Д.А. Моисеев, И.А. Фрейдкин, И.В. Соколов // Земледелие. 2019. № 4. С. 15-19.
92. Иванов, А.И. Оценка длительного использования хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы при применении разных систем удобрения [Текст] / А.И. Иванов, Н.А. Цыганова, В.А. Воробьёв // Агрохимия. 2010. № 3. С. 17-21.
93. Иванов, А.И. Почвенно-агрохимическое обоснование системы удобрения на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах северо-запада России [Текст] / А.И. Иванов. Дисс. ... д. с.-х. наук. 2000. 295 с.
94. Иванов, А.И. Снижение зависимости земледелия Северо-Запада России от погодно-климатических аномалий: проблемы и решения [Текст] / А.И. Иванов, А.А. Конашенков // Мелиорация и водное хозяйство. 2018. № 5. С. 32-37.

95. Иванов, А.Л. Глобальные изменения климата и прогноз рисков в сельском хозяйстве России [Текст] / А.Л. Иванов, В.И. Кирюшин. М.: Россельхозакадемия. 2009. 518 с.
96. Иванов, И.А. Зафосфаченно-закалиенные почвы Северо-Запада как объект агроэкологического мониторинга [Текст] / И.А. Иванов, В.Ф. Иванова, А.И. Иванов // Химия сельского хозяйства. 1994. № 2. С 24-25.
97. Иванов, И.А. Изменение свойств подзолистых и дерново-подзолистых почв на песчаных породах при окультуривании [Текст] / И.А. Иванов, А.И. Иванов, Н.А. Цыганова // Почвоведение. 2004. № 4. С. 489-499.
98. Иванов, И.А. Научно-практические основы системы земледелия Северо-Западного района России [Текст] / И.А. Иванов, А.И. Иванов. Великие Луки. - 2006. 249 с.
99. Иванов, И.А. Научно-производственные основы системы удобрения в Нечерноземной зоне [Текст] / И.А. Иванов, А.И. Иванов, В.Ф. Иванова. В.Луки. 2002. 216 с.
100. Иванов, И.А. Польза и вред удобрений [Текст] / И.А. Иванов, В.Ф. Иванова. Великие Луки, 1993. 84 с.
101. Иванов, И.А. Почвы Псковской области и их сельскохозяйственное использование [Текст] / И.А. Иванов, В.П. Спасов, А.И. Иванов. Великие Луки: Изд. ВГСХА, 1998. 263 с.
102. Иванов, И.А. Применение удобрений на дерново-подзолистых почвах с высокими запасами фосфора и калия [Текст] / И.А. Иванов, А.И. Иванов, Н.И. Семёнова // Агрохимия. 1996. № 4. С. 9-14.
103. Иванов, И.А. Пути повышения эффективности минеральных удобрений в условиях Северо-Запада РСФСР [Текст] / И.А. Иванов. Дисс.... докт. с-х. наук. Великие Луки, 1989. 388 с.
104. Иванов, И.А. Севооборот, эффективность удобрений и плодородие почв [Текст] / И.А. Иванов // Агрохимия. 1989. № 11. С 35-40.

105. Иванов, И.А. Совершенствование агрохимической классификации почв [Текст] / И.А. Иванов, А.И. Иванов, В.Ф. Иванова // Химизация сельского хозяйства. 1991. № 12. С. 24-25.
106. Иванов, И.А. Эффективность удобрений на дерново-подзолистых почвах с очень высоким содержанием фосфора и калия [Текст] / И.А. Иванов, А.И. Иванов // Агрохимия. 1991 № 5. С. 17-21.
107. Ильющенко, В.В. Фосфатный режим хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв Северо-Запада России и его трансформация в современных условиях [Текст] / А.И. Иванов, В.В. Ильющенко // Доклады РАСХН. 2000. № 2. С. 23-25.
108. Караваева, Н.А. Опыт генетической интерпретации данных по водно-тепловому режиму естественных и агрогенных почв [Текст] / Н.А. Караваева, Н.А. Жарикова, И.И.Лебедева, М.И. Герасимова, С.Н. Жариков// Почвоведение. 1998. № 9. С. 1038-1048.
109. Карнаухова, Е.В. Почвы, почвенное районирование и качественная оценка земель территории Опочецкого колхозно-совхозного производственного управления (Псковская область) [Текст] / Е.В. Карнаухова. Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Иваново. 1965. 39 с.
110. Карпинский, Н.П. Краткая пояснительная записка к классификации дерновых и дерново-подзолистых почв [Текст] / Н.П. Карпинский // Задачи и методы почвенных исследований. М., 1933.
111. Касатиков, В.А. Агроэкологические основы применения осадка городских сточных вод в качестве удобрения [Текст] / В.В. Касатиков. Автореф. дисс... докт. с.-х. наук. М.: ТСХА. 1989. 32 с.
112. Касицкий, Ю.И. Об оптимальном уровне обеспеченности почв СССР подвижным фосфором [Текст] / Ю.И. Касицкий // Агрохимия. 1979. №3. С. 135-151.
113. Кауричев, И.С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв [Текст] / И.С. Кауричев, Д.В. Орлов. М.: Колос. 1982. С. 149-160.

114. Качинский, Н.А. Материалы к выяснению вопроса о структуре почвы [Текст] / Н.А. Качинский М.: АН СССР. 1933. 254 с.
115. Каштанов, А.Н. Агроэкология почв склонов [Текст] / А.Н. Каштанов, В.Е. Явтушенко. М.: Колос, 1997. 240 с.
116. Кидин, В.В. Баланс азота и урожайность картофеля в зависимости от окультуренности дерново-подзолистой почвы и срока внесения азотных удобрений [Текст] / В.В. Кидин, А.Г. Замарев // Агрохимия. 1996. № 10. С. 3-12.
117. Кирпичников, Н.А. Влияние извести и суперфосфата на обеспеченность растений фосфором и фосфатный режим слабоокультуренной дерново-подзолистой почвы [Текст] / Н.А. Кирпичников, Л.А. Зеськина // Агрохимия. 1981. №4. С. 26-30.
118. Кирсанов, А.Т. Упрощённое химическое определение потребности почв в фосфорнокислых удобрениях [Текст] / А.Т. Кирсанов // Бюллетень ЛОВИУА, 1931. Вып. 38.
119. Кирюшин, В.И. Агрономическое почвоведение [Текст] / В.И. Кирюшин. М.: КолосС. 2010. 687 с.
120. Кирюшин, В.И. Классическое наследие и современные проблемы агропочвоведения [Текст] / В.И. Кирюшин // Почвоведение. 1996. № 3. С. 269-276.
121. Ковалёв, Н.Г. Режим органического вещества дерново-подзолистой почвы при внесении КМН [Текст] / Н.Г. Ковалёв, И.Н. Барановский, А.Е. Шутов // Плодородие. 2008. № 5(44). С. 18-19.
122. Ковалёв, Н.Г. Физические свойства дерново-подзолистой почвы и продуктивность при внесении КМН [Текст] / Н.Г. Ковалёв, И.Н. Барановский, А.Е. Шутов // Плодородие. 2009. № 2(47). С. 29-30.
123. Ковда, В.А. Генезис, плодородие и мелиорация почв [Текст] / В.А. Ковда. Институт Агрохимии и почвоведения АН СССР, Научный центр биологических исследований АН СССР. Пущино. 1980. 320 с.
124. Ковда, В.А. Минеральный состав растений и почвообразование [Текст]

/ В.А. Ковда // Почвоведение. 1956. № 1. С. 23-26

125. Кожемякова, Р.Н. Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на урожай и качество клубней картофеля [Текст] / Р.Н. Кожемякова, Т.И. Иванова. Бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии им. Д. Н. Прянишникова. 2001. № 115. С. 30.

126. Конашенков, А.А. Агроэкологические последствия неравномерного внесения навоза в овощном севообороте [Текст] / А.И. Иванов, А.А. Конашенков // Агрохимия. 2012. № 6. С. 66-72.

127. Конашенков, А.А. Актуальные вопросы известкования кислых почв Нечерноземья [Текст] / Иванов А.И., Конашенков А.А., Воробьев В.А., Иванова Ж.А., Вязовский А.А., Петров И.И. // Агрохимический вестник. 2019. № 6. С. 3-9.

128. Конашенков, А.А. Научное обоснование систем удобрения для прецизионного применения в условиях Северо-Запада России [Текст] / А.А. Конашенков. Дисс. ...докт. с.-х. наук. Санкт-Петербург. 2014. 385 с.

129. Конашенков, А.А. Оценка параметров пространственной неоднородности показателей почвенного плодородия [Текст] / А.И. Иванов, А.А. Конашенков, Т.Г. Фоменко, И.А. Федькин // Агрохимия. 2014. № 2. С. 39-49.

130. Конашенков, А.А. Равномерность внесения навоза и пестрота почвенного плодородия [Текст] / А.И. Иванов, А.А. Конашенков, Д.В. Федотенков // Плодородие. 2007. № 2. С. 16-18.

131. Коновалова, А.С. Диагностические показатели окультуренных почв подзолистого типа [Текст] / А.С. Коновалова. М.: Наука. 1967. 119 с.

132. Кононова, М.М. Органическое вещество почвы [Текст] / М.М. Кононова. М.: Наука. 1963. 314 с.

133. Кононова, М.М. Проблема почвенного гумуса и современная задача его изучения [Текст] / М.М. Кононова. М.: Изд. АН СССР. 1951. 216 с.

134. Кореньков, Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений [Текст] / Д.А. Кореньков. Москва, 1999. 296 с.

135. Корнева, И.Г. Вопросы экономической эффективности применения

удобрений в Киргизии [Текст] / И.Г. Корнева // Киргизское НПО по земледелию. 1988. № 25. С. 3-9.

136. Корнилов, М.Ф. Известкование кислых почв Нечернозёмной полосы СССР [Текст] / М.Ф. Корнилов, А.Н. Небольсин, В.А. Семёнов, Е.В. Козловский, В.А. Зяблов, Н.А. Сапожников. Ленинград: «Колос». 1971. 256 с.

137. Корнилов, М.Ф. Известкование почв Ленинградской области [Текст] / М.Ф. Корнилов. Л., 1937. 398 с.

138. Корнилов, М.Ф. Известкование почв под кормовые культуры [Текст] / М.Ф. Корнилов, А.Н. Небольсин // Материалы Всесоюзн. конф. по кормопроизводству. М., 1969. С. 136-144.

139. Королёв, А.В. Особенности земледелия на Северо-Западе Нечернозёмной зоны [Текст] / А.В. Королёв. Л.: Лениздат, 1982. 185 с.

140. Коротков, А.А. О характере почвообразования в пахотных дерново-подзолистых почвах [Текст] / А. А. Коротков // Почвоведение. 1972. № 4. С. 16-23.

141. Коротков, А.А. Процессы накопления и выноса веществ в дерново-подзолистых пахотных и луговых почвах [Текст] / А.А. Коротков. Автореф. дисс. ...докт. с.-х. наук. Л.: ЛСХИ. 1970. 36 с.

142. Костюкевич, Л.И. Оптимальные уровни применения органического и минерального азота в зерно-пропашном севообороте на дерново-подзолистой супесчаной почве [Текст] / Л.И. Костюкевич, Л.А. Карягина, Н.А. Михайловская // Агрохимия. 1991. № 10. С. 10-18.

143. Кудеярова, А.Ю. Фосфатогенная трансформация почв [Текст] / А.Ю. Кудеярова. М.: Наука. 1995. 286 с.

144. Кук, Д.У. Регулирование плодородия почв [Текст] / Д.У. Кук. М.: Мир, 1970. 520 с.

145. Кулаковская, Т.Н. Влияние агрохимических свойств почв на урожай сельскохозяйственных культур [Текст] / Т.Н. Кулаковская // Почвы Белорусской ССР. Минск: Урожай. 1974. 367 с.

146. Кулаковская, Т.Н. Почвенно-агрохимические основы получения



- высоких урожаев [Текст] / Т.Н. Кулаковская. Минск.: Урожай. 1978. 272 с.
147. Лаврова, И.А. Превращение азота удобрений в системе почва - растение и пути повышения их эффективности [Текст] / И.А. Лаврова. Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. М.: ВИУА, 1992. 36 с.
148. Лапа, В. В. Применение удобрений под сельскохозяйственные культуры в севооборотах и сохранение плодородия почв [Текст] / Н.Н. Семеновко, М.В. Рак, Н.Н. Ивахненко, Е.Г. Мезенцева, О.Г. Кулеш, Т.М. Серая, Е.Н. Богатырева / (рекомендации) РУП «Институт почвоведения и агрохимии». Минск. 2017. 98 с.
149. Лебедева, Л.А. Поступление и метаболизм фосфора в растениях ячменя при применении высоких доз минеральных удобрений на дерново-подзолистых почвах разной окультуренности [Текст] / Л.А. Лебедева и др. // Агрохимия. 1986. № 7. С. 15-23.
150. Левин, Ф.И. Окультуривание подзолистых почв [Текст] / Ф.И. Левин. М.: Колос. 1972. 264 с.
151. Литвинович, А.В. Влияние известкования на накопление марганца и железа растениями яровой пшеницы [Текст] / А.В. Литвинович, А.О. Ковлева, О.Ю. Павлова // Агрохимия. 2015. № 5. С. 61-68..
152. Литвинович, А.В. Изменение кислотно-основных свойств окультуренной дерново-подзолистой песчаной почвы в зависимости от срока нахождения в залежи [Текст] / А.В. Литвинович, О.Ю. Павлова, В.Ф. Дричко, Д.В. Чернов, А.С. Фомина // Почвоведение. 2005. № 10. С. 1232-1239.
153. Литвинович, А.В. Изменение кислотно-основных свойств окультуренных дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава в процессе постагрогенной трансформации [Текст] / А.В. Литвинович, В.Ф. Дричко, О.Ю. Павлова, Д.В. Чернов, М.В. Шабанов // Почвоведение. 2009. № 6. С. 680-686.
154. Литвинович, А.В. Изменение показателей почвенного плодородия и лабильной части гумуса дерново-подзолистой песчаной почвы при интенсивном окультуривании и в условиях хозяйственного истощения

[Текст] / А.В. Литвинович, О.Ю. Павлова, Д.В. Чернов // Агрохимия. 2003. № 4. С. 14-21.

155. Литвинович, А.В. Трансформация состава и свойств хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава [Текст] / А.В. Литвинович, О.Ю. Павлова. СПб.: АФИ, 2011. 108 с.

156. Лукин, С.М. Продуктивность зернопропашного севооборота при длительном применении различных систем удобрения на дерново-подзолистой супесчаной почве [Текст] / С.М. Лукин, Е.В. Марчук, Е.И. Золкина, Ю.М. Климкина // Агрохимия. 2018. № 2. С. 71-78.

157. Лукин, С.М. Эффективность органических удобрений в севооборотах по зонам Российской Федерации [Текст] / С.М. Лукин. Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, центральной Азии и Сибири. М.: ВНИИА им. Д. Н. Прянишникова, 2018. С. 154-158.

158. Лыков, А.М. Воспроизводство плодородия почв в Нечернозёмной зоне [Текст] / А.М. Лыков. М.: Россельхозиздат. 1982. 143 с.

159. Маймусов, Д.Ф. Почвы Смоленской области. Их улучшение и использование [Текст] / Д.Ф. Маймусов. Смоленск: Смоленское книжное издательство. 1963. 274 с.

160. Максимов, П.Г. Результаты агроэкологической оценки сапропелевых месторождений [Текст] / П.Г. Максимов, А.В. Кузнецов, И.Г. Платонов. М.: 2000. 110 с.

161. Милащенко, Н.З. Научные основы и рекомендации по эффективному применению органических удобрений [Текст] / Н.З. Милащенко, Г.Е. Мёрзлая и др. М.: ВИУА, 1991. 217 с.

162. Минеев, В.Г. Агрохимическая наука в современной экономической и экологической ситуации [Текст] / В.Г. Минеев // Химия в сельском хозяйстве. 1993. № 5,6. С. 3.

163. Минеев, В.Г. Практикум по агрохимии [Текст] / В.Г. Минеев и др. М.: Изд. МГУ, 2001. 689 с.

164. Минеев, В. Г. Экологическая агрохимия [Текст] / В.Г. Минеев. М. 2008. 229 с.
165. Мишустин, Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия [Текст] / Е.Н. Мишустин. М.: «Наука». 1972. 343 с.
166. Моисеев, Д.А. Азотный режим лёгких дерново-подзолистых почв и его оптимизация в условиях дефицита традиционных удобрений [Текст] / А.И. Иванов, И.А. Иванов, Ж.А. Иванова, Н.А. Цыганова, Д.А. Моисеев // Агрохимия. 2008. № 9. С. 5-15.
167. Моисеев, К.Г. Группировка почв землепользования Меньково по гранулометрическому составу [Текст] / К.Г. Моисеев, Е.Г. Зинчук. Вклад агрофизики в решение фундаментальных задач сельскохозяйственной науки. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2020. С. 464-470.
168. Моисеев, К.Г. Крупномасштабная почвенная карта Меньковского филиала Агрофизического института Россельхозакадемии [Текст] / К.Г. Моисеев, Е.Г. Зинчук // Агрофизика. 2014. № 3. С. 8-17.
169. Мордашёв, А.И. Жёлтый кормовой люпин в Псковской области [Текст] / А.И. Мордашёв. Л.: Лениздат. 1969. 46 с.
170. Муха, В.Д. Естественно-антропогенная эволюция почв (общие закономерности зональные особенности) [Текст] / В.Д. Муха. М.: КолосС, 2004. 271 с.
171. Надёжкин, С.М. Экологические аспекты известкования чернозёмов [Текст] / С.М. Надёжкин, Т.Б. Лебедева, Е.В. Надёжкина. Пенза: Изд. ПГСХА. 2005. 276 с.
172. Надточий, И.А. Оценка мелиорирующего эффекта сапропелевых удобрений на загрязнённых кадмием дерново-подзолистых почвах [Текст] / А.И. Иванов, И.А. Иванов, И.А. надточий, И.Ю. Сорокина // Агрохимия. 2008. № 2. С. 77-85.
173. Назарова, О.В. Азотное состояние хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв Северо-Запада России и его изменение под влиянием раз-

личных систем удобрения [Текст] / О.В. Назарова. Дисс. ...канд. с.-х. наук. 2004. 132 с.

174. Небольсин, А.Н. Баланс питательных веществ и основные проблемы повышения плодородия почв Северо-Западной зоны РСФСР [Текст] / А.Н. Небольсин, З.П. Небольсина // Регулирование плодородия почв, круговорота и баланса питательных веществ в земледелии СССР. Пушкино, 1981. С. 44-47.

175. Небольсин, А.Н. Известкование почв (результаты 50-летних полевых опытов) [Текст] / А.Н. Небольсин, З.П. Небольсина. Санкт-Петербург. 2010. 253 с.

176. Небольсин, А.Н. Изменение некоторых свойств почвенного поглощающего комплекса дерново-подзолистых легкосуглинистых почв под влиянием известкования [Текст] / А.Н. Небольсин, З.П. Небольсина // Агрохимия. 1997. №10. С. 5-12.

177. Небольсин, А.Н. Научные основы и технология использования удобрений и извести [Текст] / А. Н. Небольсин. С.Пб.: СЗНИИСХ. 1997. 52 с.

178. Небольсин, А.Н. Теоретическое обоснование известкования почв северо-запада Нечернозёмной зоны РСФСР [Текст] / А.Н. Небольсин. Автореф. дисс. ...докт. с.-х. наук. Л. 1983. 38 с.

179. Небольсин, А.Н. Теоретические основы известкования почв [Текст] / А.Н. Небольсин, З.П. Небольсина. СПб. 2005. 253 с.

180. Нерпин, С.В. Энерго- и массообмен в системе растение-почва-воздух [Текст] / С.В. Нерпин. Ленинград. 1985. 358 с.

181. Неприимерова, С.В. Влияние интенсивного окультуривания дерново-подзолистой почвы на её микростроение [Текст] / С.В. Неприимерова. Материалы научной сессии по итогам 2012 года Агрофизического института. Агрофизический научно-исследовательский институт РАСХН. 2013. С. 149-154.

182. Неприимерова, С.В. Изменение морфологических свойств дерново-подзолистых почв при интенсивном использовании [Текст] / С.В. Неприимерова. В сборнике: Тенденции развития агрофизики в условиях

изменяющегося климата. Материалы международной конференции, посвящённой 80-летию Агрофизического НИИ. 2012. С. 345-348.

183. Никитин, Б.А. Окультуривание пахотных почв Нечерноземья и регулирование их плодородия [Текст]/Б.А. Никитин. Л.: Агропромиздат, 1986. 277 с.

184. Никитин, Б.А. Особенности почвообразовательного процесса окультуренных дерново-подзолистых почв [Текст] / Б.А. Никитин // Почвоведение. 1977. № 10. С. 55-62.

185. Никитин, Б.А. Свойства и классификация окультуренных дерново-подзолистых почв [Текст] / Б.А. Никитин. Чебоксары: Чувашкнигоиздат, 1986. 161 с.

186. Онучина, О.Л. Результаты селекции клевера лугового на алюмотолерантность в условиях европейского северо-востока России [Текст] / О.Л. Онучина и др. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2016. № 6 (55). С. 20-25.

187. Онучина, О.Л. Устойчивость сортов клевера лугового к стрессовым факторам кислой дерново-подзолистой почвы [Текст] / О.Л. Онучина, И.А. Корнева // Сельское хозяйство. 2018. № 2. С. 1-8.

188. Орлов, Д.С. О дегумификации пахотных почв [Текст] / Д.С. Орлов, О.Н. Бирюкова, Н.И. Суханов. Эколого-экономические проблемы освоения минерально-сырьевых ресурсов. М. 2005. С. 76-77.

189. Осипов, А.И. Роль азота в плодородии почв и питании растений [Текст] / А.И. Осипов, О.А. Соколов. СПб.: ООО Инновационный центр защиты растений ВИЗР, 2001. 360 с.

190. Панников, В.Д. Почва, климат, удобрение и урожай [Текст] / В.Д. Панников, В.Г. Минеев. Москва, 1977.

191. Пестряков, В.К. Окультуривание дерново-подзолистых почв (в северо-западной зоне) [Текст] / В.К. Пестряков. Л.: Колос. 1970. 120 с.

192. Пестряков, В.К. Окультуривание почв Северо-Запада [Текст] / В.К. Пестряков. Л.: Колос. 1977. 347 с.

193. Петербургский, А.В. Сравнение агрохимических методов прогноза действия азотных удобрений под озимую пшеницу на чернозёме [Текст] / А.В. Петербургский, В.И. Никитишен // Агрохимия. 1970. №10. С. 9-12.
194. Петрушенко, С.Е. Характеристика опытного стационара (Меньковская опытная станция АФИ) [Текст] / С.Е. Петрушенко. Меньковский агроэкологический стационар (Меньковская опытная станция АФИ Ленинградская область). СПб.: ВИЗР, АФИ, 2006. С. 3-14.
195. Помазкина, Л.В. Трансформация и баланс азота в агроэкосистемах севооборота на тёмно-срой лесной почве лесостепи Прибайкалья [Текст] / Л.В. Помазкина и др. // Агрохимия. 1998. № 7. С. 5-11.
196. Производство, изучение и применение удобрений на основе птичьего помёта. Под общей редакцией А.И. Иванова и В.В. Лапы. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2018. 317 с.
197. Прокошев, В.В. Калийные удобрения – фактор экологический [Текст] / В.В. Прокошев // Химия в сельском хозяйстве. 1993. № 5-6. С. 17-18.
198. Прокошев, В.В. Использование удобрений для обеспечения устойчивой продуктивности растений и повышения почвенного плодородия [Текст] / В.В. Прокошев В.А. // Агрохимия. 1998. №3. С. 87-89.
199. Прокошев, В.В. Калий и калийные удобрения [Текст] / В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин. М.: Ледум. 2000. 185 с.
200. Прудников, В.А. Влияние обеспеченности почвы подвижными формами фосфора и калия на эффективность удобрений в севообороте [Текст] / В.А. Прудников, В.А. Шкель // Агрохимия. 1989. №5. С. 26-33.
201. Прянишников, Д.Н. Об удобрении полей в севооборотах (изб. статьи) [Текст] / Д.Н. Прянишников. М.: МСХРСФСР. 1962. 256 с.
202. Ревут, И.Б. Научные основы минимальной обработки почвы [Текст] / И. Б. Ревут // Земледелие. 1965. № 2. С. 17-23.
203. Ревут, И.Б. Физика почв [Текст] / И.Б. Ревут. М.: «Колос». 1964. 320 с.
204. Рекомендации по применению технологий агрохимических, агробиологических и реабилитационных мероприятий [Текст] / Под общей

- редакцией проф., доктора с.-х. наук А. И. Иванова. СПб. 2009. 208 с.
205. Роде, А.А. Подзолообразовательный процесс [Текст] / А.А. Роде. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 1937. 454 с.
206. Сапожников, Н.А. Действие удобрений на вновь освоенных почвах [Текст] / Н.А. Сапожников, В.В. Лежава // Вопросы окультуривания вновь осваиваемых земель. М.: Сельхозгиз, 1939. С. 59-88.
207. Сапожников, Н.А. Методы прогноза эффективности азотных удобрений [Текст] / Н.А. Сапожников // Азот в земледелии Нечерноземной полосы. Л.: Колос. 1973. С. 286-304.
208. Сапожников, Н.А. Научные основы системы удобрения в Нечернозёмной полосе [Текст] / Н.А. Сапожников, М.Ф. Корнилов. Л.: Колос. 1977. 296 с.
209. Сапожников, Н.А. Системы удобрения в Нечернозёмной полосе [Текст] / Н.А. Сапожников, М.Ф. Корнилов. Л.: Колос. 1969. 304 с.
210. Сдобников, О.В. Фосфор в агроэкосистемах [Текст] / О.В. Сдобников // Бюл. ВИУА. 1991. № 103. С. 3-11.
211. Семёнов, В.А. Взаимозависимость между содержанием гумуса и другими свойствами почвы – факторами урожая [Текст] / В.А. Семёнов // Почвоведение. 1992. № 11. С. 68-80.
212. Семёнов, В.А. Использование данных качественной оценки земель при размещении посевов [Текст] / В.А. Семёнов // Научные труды Сев.-Зап. НИИ сельского хозяйства. Вып. 11. 1966. С. 20-21.
213. Семёнов, В.А. Качественная оценка сельскохозяйственных земель [Текст] / В. А. Семёнов. Л.: «Колос» 1970. 159 с.
214. Семёнов, В.А. О программировании окультуривания почв [Текст] / В.А. Семёнов // Научно-технический бюллетень по агрономической физике. Л.: Агрофизический НИИ, 1984. № 57. С. 8-13.
215. Семёнов, В.А. Оценка земель и прогноз урожая [Текст] / В.А. Семёнов. Л.: Наука. 1977. 96 с.
216. Семёнов, В.М. Оценка обеспеченности почв активным органическим

- веществом по результатам длительных полевых опытов [Текст] / В.М. Семёнов и др. // Агрохимия. 2013. № 3. С. 19-31.
217. Семёнов, В.А. Свойства почв и урожайность сельскохозяйственных культур в Северо-Западной зоне РСФСР [Текст] / В.А. Семёнов. Дисс. ...докт. с.-х. наук. Ленинград-Пушкин. 1984. 68 с.
218. Скворцова, Е.Б. Влияние многократного замораживания-оттаивания на микроструктуру агрегатов дерново-подзолистой почвы (микротомографический анализ) [Текст] / Е.Б. Скворцова, Е.В. Шеин, К.Н. Абросимов и др. // Почвоведение. 2018. № 2. С. 187-196.
219. Смук, В.В. Результативность разных способов защиты посадок картофеля от сорной растительности по предшественнику многолетние травы [Текст] / В.В. Смук, А.М. Шпанёв // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. №3. -С. 83-87.
220. Стребков, Н.И. Закономерности действия удобрений на дерново-подзолистых почвах Центрального района Нечерноземной зоны РСФСР в зависимости от уровня их плодородия [Текст] / Н.И. Стребков // Агрохимия. 1989. № 2. С. 27-29.
221. Сычёв, В.Г. Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений [Текст] / В.Г. Сычёв, С.А. Шафран. М.: ВНИИА. 2013. 296 с.
222. Сычев, В.Г. Исследование динамики и баланса гумуса при длительном применении систем удобрения на основных типах почв [Текст] / В.Г. Сычёв, Л.К. Шевцова, Г.Е. Мёрзлая. // Агрохимия. 2018. № 2. С. 3-21.
223. Сычев, В.Г. Прогноз плодородия почв Нечерноземной зоны в зависимости от уровня применения удобрений [Текст] / В.Г. Сычёв, С. А. Шафран // Плодородие. 2019. № 2 (107). С. 22-25.
224. Сычёв, В.Г. Региональные нормативы окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур [Текст] / В.Г. Сычёв и др. М.: изд. ВНИИА им. Прянишникова, 2011. 115 с.
225. Сычев, В.Г. Современное состояние плодородия и основные аспекты



- его регулирования [Текст] / В.Г. Сычев. М.: РАН, 2019. 325 с.
226. Сычев, В.Г. Содержание гумуса, подвижного фосфора, обменного калия и степень кислотности пахотных почв Российской Федерации [Текст] / В.Г. Сычёв, А.В. Кузнецов, А.В. Павлихина, Н.В. Лобас // Плодородие. 2008. № 3(42). С. 1-3.
227. Сычёв, В.Г. Экология применения органических удобрений [Текст] / В.Г. Сычёв, О.А. Соколов, А.А. Завалин, Н.Я. Шмырева. Москва. 2017.
228. Суханов, П.А. Агроэкологическое значение окультуривания песчаных дерново-подзолистых почв при техногенном загрязнении Pb и Cd [Текст] / А.И. Иванов, П.А. Суханов, Ж.А. иванова, Т.И. Яковлева // Агрохимия. 2019. № 4. С. 70-78.
229. Суханов, П.А. Влияние различных систем удобрения на микроэлементный состав дерново-подзолистой почвы [Текст] / А.И. Иванов, П.А. Суханов, Е.А. Дымова, В.А. Воробьёв // Агрохимия. 2010. № 12. С. 3-9.
230. Суханов, П.А. Тяжелые металлы в песчаных почвах Псковской области [Текст] / А.И. Иванов, П.А. Суханов, Ж.А. Иванова, Н.А. Цыганова, Т.И. Яковлева // Агрохимия. 2017. № 1. С. 71-79.
231. Такунов, И.П. Люпин в земледелии России [Текст] / И.П. Такунов. Брянск: Придесенье. 1996. 372 с.
232. Тарасов, С.И. Влияние длительного применения минеральных удобрений, различных доз бесподстилочного навоза на биологические свойства дерново-подзолистой почвы [Текст] / С.И. Тарасов, М.Е. Кравченко, Т.А. Бужина // Московский экономический журнал. 2018. № 2. С. 3.
233. Тихомирова, В.Я. Повышение урожайности и качества льнопродукции на основе совершенствования технологии применения удобрений и десикантов [Текст] / В.Я. Тихомирова. Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. М. - 1996. 41 с.
234. Тихонович, И.А. Микробиологические аспекты плодородия почвы и проблемы устойчивого земледелия [Текст] / И.А. Тихонович, Ю.В. Круглов // Плодородие. 2006. № 5(32). С. 9-12.

235. Тихонович, И.А. Сельскохозяйственная микробиология как основа экологически устойчивого агропроизводства: фундаментальные и прикладные аспекты [Текст] / И.А. Тихонович, Н.А. Проворов // Сельскохозяйственная биология. 2011. Т. 46. № 3. С. 3-9.
236. Трепачёв, Е.П. Агрохимические аспекты биологического азота в современном земледелии [Текст] / Е.П. Трепачёв. Москва. 1999. 532 с.
237. Трофимов, С.Н. Фосфатное состояние и изменение плодородия дерново-подзолистой почвы в длительных полевых опытах [Текст] / С.Н. Трофимов, А.А. Коваленко // Агрохимия. 2017. № 8. С. 3-15.
238. Тумасова, М.И. Селекция клевера лугового на алюмотолерантность [Текст] / М.И. Тумасова, Н.А. Демшина, М.Н. Грипась, О.Л. Онучина // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2006. № 8. С. 34-38.
239. Тюлин, В.В. Влияние длительного сельскохозяйственного освоения почв подзолистого типа на почвенные процессы и свойства почв [Текст] / В.В. Тюлин // Труды Горьковский СХИ. 1971. Т. 41. С. 59-64.
240. Тюлин, В.В. Фосфатное состояние дерново-подзолистых почв [Текст] / В.В. Тюлин, А.А. Тумасов // Химия в сельском хозяйстве. 1993. № 3-4. С. 17-18.
241. Тюрин, И.В. О новом методе определения потребности почв в азоте [Текст] / И.В. Тюрин // Агрохимические и биохимические работы. Л., 1934. С. 49-56.
242. Усков, И.Б. Климатически обеспеченная продуктивность земель Северо-Западного региона России [Текст] / И.Б. Усков. Экологизация сельскохозяйственного производства в Северо-Западной зоне Российской федерации. Проблемы и пути развития. 1998. С. 105-117.
243. Усков, И.Б. Методические указания и нормативные материалы для разработки проектов адаптивно-ландшафтных систем земледелия в Северо-Западном регионе РФ [Текст] / И.Б. Усков, В.П. Якушев, М.В. Архипов, Е.И. Ермаков, Р.А. Полуэктов, В.А. Семёнов. СПб, Агрофизический НИИ РАСХН. 2004. 171 с.

244. Усков, И.Б. Методология и принципы программирования урожая на современном этапе [Текст] / И.Б. Усков // Земледелие. 1985. № 12. С. 24-27.
245. Усков, И.Б. Основы адаптации земледелия к изменениям климата (справочное издание) [Текст] / И.Б. Усков. СПб. 2014. 384 с.
246. Фесенко, М.А. Результаты и развитие исследований в многолетнем стационарном полевом опыте в семипольном севообороте [Текст] / А.И. Иванов, М.А. Фесенко, В.Е. Вертебный, В.И. Дубовицкая // Агрофизика. 2012. №3. С. 50-57.
247. Фомин, Д.С. Динамика содержания гумуса в дерново-подзолистой почве при различном землепользовании [Текст] / Д.С. Фомин, Н.Е. Завьялова, М.Т. Васбиева, И.С. Тетерлева // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 1(69). С. 16-18.
248. Францессон, В.А. Об окультуривании и окультуренности почв [Текст] / В.А. Францессон // Химизация соц. земледелия. 1934. № 11.
249. Фрейдкин, И.А. Агроэкологическая оценка эффективности применения нового органо-минерального удобрения в условиях Северо-Запада РФ [Текст] / И.А. Фрейдкин. Дисс... канд.с.-х. наук. СПб., 2017. 144 с.
250. Фрейдкин, И.А. Агроэкологическая эффективность применения нового органо-минерального удобрения на основе птичьего помёта [Текст] / А.И. Иванов, И.А. Фрейдкин, Ж.А. Иванова // Проблемы агрохимии и экологии. 2014. № 3. С. 19-22.
251. Фрейдкин, И.А. Воспроизводство плодородия дерново-подзолистых почв с использованием нового органо-минерального удобрения [Текст] / А.И. Иванов, Ж.А. Иванова, И.А. Фрейдкин // Плодородие. 2014. № 6(81). С. 20-22.
252. Фрид, А.С. Зонально-провинциальные нормативы изменения агрохимических, физико-химических и физических показателей основных пахотных почв европейской территории России при антропогенных воздействиях. Методические рекомендации [Текст] / А.С. Фрид, И.В. Кузнецова, И.Е. Королёва, А.Г. Бондаров, Б.М. Когут, В.Ф. Уткаева, Н.А. Азовцева. М.: ГНУ Почвенный институт им. В. В. Докучаева. 2010. 176 с.

253. Фрид, А. С. Пространственное варьирование и временная динамика плодородия почв в длительных полевых опытах [Текст] / А.С. Фрид. М.: РАСХН, 2002. 80 с.
254. Хлыстовский, А.Д. Последствие фосфора, оптимальные фосфатные уровни в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве и применение фосфорных удобрений [Текст] / А.Д. Хлыстовский, Ю.И. Касицкий // Агрохимия. 1987. № 5. С. 10-14.
255. Хмелинин, И.Н. Фосфор в подзолистых почвах и процессы трансформации его соединений [Текст] / И.Н. Хмелинин. Л.: Наука. 1984. 151 с.
256. Христенко, А.А. Влияние состава и свойств почв на результаты определения в них подвижного фосфора по методу Кирсанова [Текст] / А.А. Христенко // Агрохимия. 2004. № 11. С. 80-86.
257. Христенко, А.А. Динамика основных показателей фосфатного режима почв в процессе их экстенсивного использования [Текст] / А.А. Христенко // Агрохимия. 2003. № 2. С. 10-15.
258. Христенко, А.А. Проблемы совершенствования диагностики фосфатного состояния почв [Текст] / А.А. Христенко, А.П. Нешта // Почвоведение и агрохимия. 2004. № 2(53). С. 103-111.
259. Цыганова, Н.А. Особенности формирования плодородия лёгких дерново-подзолистых почв при окультуривании и длительном применении различных систем удобрения в условиях Северо-Запада РФ [Текст] / Н.А. Цыганова. Дисс. ... докт. с.-х. наук. Санкт-Петербург. 2007. 409 с.
260. Цыганова, Н.А. Эффективность дифференциации доз удобрений в зернопаровом звене севооборота [Текст] / А. И. Иванов, Ж. А. Иванова, Н.А. Цыганова // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 1. С. 20-24.
261. Чеботарев, Н.Т. Влияние длительного применения удобрений на содержание, фракционный состав и баланс гумуса в дерново-подзолистых почвах европейского северо-востока [Текст] / Н.Т. Чеботарев, Г.Т. Шморгунов, Е.М. Лаптева, В.И. Ермолина, В.М. Кормановская // Агрохимия.

2009. № 10. С. 11-16.

262. Чеботарев, Н.Т. Динамика плодородия и продуктивности дерново-подзолистой почвы под действием длительного применения удобрений в условиях республики Коми [Текст] / Н.Т. Чеботарев, А.А. Юдин // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 2. С. 11-13.

263. Чеботарев, Н.Т. Комплексное применение удобрений в кормовом севообороте на дерново-подзолистой почве [Текст] / Н.Т. Чеботарёв, А.А. Юдин, В.Н. Бубнова // Земледелие. 2014. № 1. С. 26-28.

264. Чеботарь, В.К. Эффективность применения биопрепарата экстрасол [Текст] / В.К. Чеботарь, А.А. Завалин, Е.Н. Кипрушкина. М.: Изд-во ВНИИА. - 2007. 216 с.

265. Черкасова, Л.П. К проблеме калия в земледелии [Текст] /Л.П. Черкасова // Земельные ресурсы Ставропольского края и приёмы повышения производительности почв. Ставрополь: 1985. С. 106-114.

266. Чижевский, М.Г. К вопросу об окультуренности и окультуривании почв [Текст] / М.Г. Чижевский, В. К. Петрушин // Труды ТСХА. т. 1, вып. 1. 1935. № 9. С. 89 -115.

267. Шафран, С.А. Азотное питание [Текст] / С.А. Шафран, В.Г. Сычёв, А.Л. Кондрашёв. М.: Изд. ОАО МХК «ЕвроХим». 2013. 80 с.

268. Шафран, С.А. Влияние агрохимических свойств почв на окупаемость азотных удобрений [Текст] / С.А. Шафран, П.А. Прошкин, Г.И. Ваулин, Е.С. Козеичева // Агрохимия. 2010. № 8. С. 15-23.

269. Шафран, С.А. Диагностика азотного питания озимых зерновых культур в Нечернозёмной зоне [Текст] / С.А. Шафран // Агрохимия. 1996.№7.С.10-21.

270. Шафран, С.А. Динамика плодородия почв Нечернозёмной зоны [Текст] / С.А. Шафран // Агрохимия. 2016. № 8. С. 3-10.

271. Шафран, С.А. Динамика применения удобрений и плодородие почв [Текст] / С.А. Шафран // Агрохимия. 2004. № 1. С. 9-17.

272. Шафран, С.А. Эффективность азотных удобрений в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистых почв подвижными формами фосфора и

- калия [Текст] / С.А. Шафран // Агрохимия. 1995. №11. С. 10-14.
273. Шафран, С.А. Эффективность применения азотных удобрений под картофель в Нечернозёмной зоне на почвах с различными агрохимическими свойствами [Текст] / С.А. Шафран, Е.С. Козеичева, С.В. Швыркина // Агрохимия. 2015. № 2. С. 23-32.
274. Шевцова, Л. К. Гумус черноземов и его изменение при интенсивном сельскохозяйственном использовании [Текст] / Л. К. Шевцова и др. Плодородие чернозёмов России. М.: РАСХН. ВНИИ агрохимии, 1998. С. 196-224.
275. Шеин, Е. В. Агрофизика [Текст] / Е.В. Шеин, В.М. Гончаров. Ростов на Дону: ООО «Феникс», 2006. 400 с.
276. Шеин, Е. В. Органическое вещество и структура почвы: учение В.Р. Вильямса и современность [Текст] / Е.В. Шеин, Е.Ю. Милановский // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2014. № 1. С. 42-51.
277. Шеин, Е. В. Роль и значение органического вещества в образовании и устойчивости почвенных агрегатов [Текст] / Е.В. Шеин // Почвоведение. 2003. № 1. С. 53-61.
278. Шеин, Е. В. Современные проблемы изучения коллоидного транспорта в почве [Текст] / Е.В. Шеин, Б.А. Девин // Почвоведение. 2007. № 4. С. 438-449.
279. Шеин, Е. В. Физические свойства дерново-подзолистых почв в длительном агрономическом опыте [Текст] / Е.В. Шеин, Т. Саункончак, Е.Ю. Милановский, Д.Д. Хайдапова, М.А. Мазиров, Н.Ф. Хохлов // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2009. № 4. С. 51-58.
280. Шильников, И. А. Значение известкования и потребность в известковых удобрениях [Текст] / И. А. Шильников, Н. И. Аканов, В. Н. Темников // Агрохимический вестник. 2008. № 6. С. 28-31.
281. Шильников, И.А. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия [Текст] / И.А. Шильников и др. М.: изд.ВНИИА

имени Д. Н. Прянишникова. 2008. 340 с.

282. Шильников, И.А. Определение потерь кальция из пахотных почв по данным полевых опытов [Текст] / И.А. Шильников, Н.И. Аканов, Л.С. Федотова // Плодородие. 2004. № 2. С. 21-23.

283. Шпанёв, А.М. Интегрированная защита озимой пшеницы на Северо-Западе России [Текст] / А.М. Шпанёв, А.Б. Лаптиеv, Н.Р. Гончаров, В.В. Воропаев // Защита и карантин растений. 2018. № 6. С. 28-34.

284. Шпанёв, А.М. Фитосанитарные аспекты применения нового органоминерального удобрения в полевом севообороте на Северо-Западе РФ [Текст] / А.М. Шпанёв, В.В. Смур, Е.С. Денюсюк, М.А. Фесенко // Проблемы агрохимии и экологии. 2017. № 2. С. 47-53.

285. Юлушев, И.Г. Почвенно-агрохимические основы адаптивно-ландшафтной организации систем земледелия [Текст] / И.Г. Юлушев. М.: Академический Проект. Киров. Константа, 2005. 368 с.

286. Якименко, В.Н. Баланс, формы и запасы калия в агроценозах на серой лесной почве [Текст] / В.Н. Якименко. Изд. Новосибирское отделение изд. РАН. 2003. 231 с.

287. Якименко, В.Н. Действие и последствие калийных удобрений в полевом опыте на серой лесной почве [Текст] / В.Н. Якименко // Агрохимия. 2015. №4. С. 3-12.

288. Якименко, В.Н. Длительность последствия калийных удобрений на урожайность картофеля и калийное состояние почвы [Текст] / В.Н. Якименко // Плодородие. 2015. № 2(83). С. 11-13.

289. Якименко, В.Н. Калийные удобрения и урожайность зерновых культур [Текст] / В.Н. Якименко // Химия в сельском хозяйстве. 1994. №2. С. 10-12.

290. Якименко, В.Н. Подвижность форм калия в почвах [Текст] / В.Н. Якименко // Агрохимия. 2005. № 9. С. 5-12.

291. Якименко, В.Н. Фиксация и десорбция калия некоторыми автоморфными почвами [Текст] / В.Н. Якименко // Агрохимия. 1995. №2. С. 12-18.

292. Якименко, В.Н. Эффективность калийных удобрений на почвах с различной обеспеченностью калием [Текст] / В.Н. Якименко // *Агрохимия*. 1995. № 12. С. 71-79.
293. Якушев, В.П. Информационное обеспечение точного земледелия [Текст] / В.П. Якушев, В.В. Якушев. СПб.: Изд. ПИЯФ РАН, 2007. 384 с.
294. Якушев, В.П. Потенциал развития отрасли растениеводства в РФ с использованием информационных технологий точного земледелия [Текст] / В.П. Якушев, А.И. Осипов, В.В. Якушев / В сборнике: Россия в новых реалиях мирового продовольственного рынка. Материалы Шестого Международного Форума "Продовольственная безопасность". ФГБНУ "Северо-Западный центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения". 2016. С. 66-73.
295. Якушев, В.П. Реализация системы удобрения в точном земледелии [Текст] / В.П. Якушев, А.И. Иванов, В.В. Якушев, А.А. Конашенков // *Земледелие*. 2008. № 5. С. 77-85.
296. Янко, Ю.Г. Мелиорация как неотложное средство развития земледелия Нечернозёмной зоны России [Текст] / А.И. Иванов, Ю.Г. Янко // *Агрофизика*. 2019. №1. С. 28-36
297. Яськов, А.И. Новые виды органических, органо-минеральных удобрений и биокомпостов [Текст] / А.И. Яськов, С.Н. Лукин, С.И. Тарасов // *Плодородие*. 2006. № 5(32). С. 20-23.
298. Яськов, А.И. Современное состояние и перспективы использования органических удобрений в сельском хозяйстве России [Текст] / А.И. Яськов // *Плодородие*. 2018. №1(100). С. 20-23.
299. Chang, Ed-Haun. Effects of long-term treatments of different organic fertilizers complemented with chemical N fertilizer on the chemical and biological properties of soils [Текст] / Ed-Haun Chang, Chong-Ho Wang, Chi-Ling Chen, Ren-Shih Chung // *Soil Science and Plant Nutrition*. 2014. 60(4). P. 499–511.
300. Cornfield, A.H. Ammonia released on treating soils with N sodium hydroxide as a passible means of predicting the nitrogen supplying power of soils



- [Текст] / A.H. Cornfield // Nature. 1960. V. 1987. № 4733. P. 260 – 261.
301. Doyeni, M. The Effectiveness of Digestate Use for Fertilization in an Agricultural Cropping System [Текст] / M. Doyeni, U. Stulpinaitė, A. Bakšinskaitė, S. Suproniene, V. Tilvikiene // Plants. 10(8). P. 1734.
302. Dunker M., Nordmeyer H. Ursachen einer kleinraumigen Verteilung von Unkrautern auf Ackerflächen – Feld und Gewachshausuntersuchungen zum Einfluss von Bodeneigenschaften [Текст] // Z. Pflanzenkrankh, Pflanzensch. Sonderheft XVII. 2000. S. 55-62
303. Fleige, H. Zur Erfassung der Nährstoffanlieferung durch Diffusion in effektiven Wurzelraum [Текст] / H. Fleige // DLG-Mitteilungen, 1983, № 38, S. 381-386.
304. Gamzikov, G.P. Change in agrochemical properties of sod-podzolic soil during long-term fertilization [Текст] / G.P. Gamzikov, P.A. Barsukov, O.D. Varvain // Russian Agricultural Sciences. 2007. 33(5). P. 314-317.
305. Herbst, R. Zur kleinraumigen Heterogenität der Böden Deutschlands und zum Akzeptanzpotential der Teilflächenbewirtschaftung. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft [Текст] / R. Herbst, J. Lamp. KTBL-Verlag, Darmstadt. 264. 1998. S. 33-41.
306. Hege, U. Kalidüngung auf gut versorgten Böden [Текст] / U. Hege // Kartoffelbau. 1986. Bd. 37. № 2. S. 60-61.
307. Ilves, A. Modeling of sod-podzolic soil fertility indicators optimization in the course of a field experiment [Текст] / A. Ilves, L. Smolina, D. Danilov, D. Fayzrakhmanov, B. Ziganshin, F. Nezhmetdinova, R. Shaydullin // BIO Web of Conferences. 2020. 17. P. 00128.
308. Ivanov, A.I. Methodology of the Agrophysical Institute's Modern System of Field Experiments / Aleksey I. Ivanov, Zhanna A. Ivanova // Exploring and Optimizing Agricultural Landscapes. Springer Nature Switzerland AG, 2021. Chapter 26. P. 529-546.
309. Ivanov, A.I. Some Regularities in Changes in the Acidic-Basic Status of Sandy-Podzolic Soils under Agricultural Use II Eurasian Soil Science [Текст] /

A.I. Ivanov // Eurasian Soil Science, Vol. 33, Suppl. 2, 2000. pp. 148-152.

310. Kerschberger, M. Zielen die P-Düngungsempfehlungen (EVD-Düngungssystem 87) auf eine Überversorgung der Boden mit Phosphor hin [Текст] / M. Kerschberger, W. Podlesak // Feldwirtschaft. 1990. Bd. 31. № 10. S. 435-436

311. Kosolapova, A. Yields of field crops and sod-podzolic soil fertility of West Ural depending on fertilizer system [Текст] / A. Kosolapova, V. Yamaltdinova, E. Mitrofanova, D. Fomin, I. Teterlev // Bulgarian Journal of agricultural science. 2016. V. 22, No 3, pp. 381-385.

312. Liu, Jian-ling. Effect of phosphate fertilizer and manure on crop yield, soil P accumulation, and the environmental risk assessment [Текст] / Jian-ling Liu, Wen-hua Liao, Zuo-xin Zhang, Hai-tao Zhang, Xin-jun Wang, Na Meng // Agr. Sci. China. 2007. № 9. P. 1107-1114

313. Manfred, M. Zur Höhe der Kalibedarfs der Kartoffel auf gut versorgten Boden [Текст] / M. Manfred, E. Ulrich // Bauer. Landwirt. Jahrbuch. 1985. Bd. 62. №3. P. 354-364.

314. Matyuk, N.S. Transformation of soil profile's upper part on sod-podzolic light loamy soils under the conditions of long-term soil improvement (on the occasion of centenary of the long-term field experiment at RSAU-MTAA) [Текст] / N.S. Matyuk, M.A. Mazirov, D.M. Kasheeva // Izvestiya TSKhA. 2013. Special issue, pp. 110-124.

315. Merzlaya, H.Y. Agrocenosis Stability during Long-Term Application of Fertilizers on Soddy-Podzolic Soil [Текст] / H.Y. Merzlaya // Eurasian Soil Sc. 2021. 54. P. 424–430.

316. Mittal, S. B. Potassium depletion under long-terms fertilization in a semiarid Soil in India [Текст] / S.B. Mittal, R. Singh. 1990. V. 115. № 2. P. 173-178.

317. Moiseev, K.G Soil Aggregate strength as affected by long-term plowing [Текст] / K. G. Moiseev, I. A. Romanov // Eurasian Soil Science. 2004. T. 37. № 6. P. 604-607.

318. Podlesak, W. Anforderungen an Feldversuche zur Eichung der

Bodenuntersuchung als Grundlage der Dungerbezessung [Текст] / W. Podlesak, D. Richter, M. Kerschberger // Kali-Briefe (Buntehof). Hannover: 1990. J. 20. № 2. S. 161-170.

319. Poliovyi, V. Differentiation of physicochemical parameters and productivity of sod-podzolic soil owing to long application of different fertilizer systems and doze of lime [Текст] / V. Poliovyi, M. Lavruk, S. Kulyk // Bulletin of Agricultural Science. 2018. Issue 5. P. 12-17.

320. Postnikov, D.A. Comparative evaluation of the biological activity of the arable layer of sod-podzolic soil in the Non-chernozem zone (Smolensk region) depending on the fertilizer system [Текст] / D.A. Postnikov, G.E. Merzlaya, A.D. Fedulova, K.V. Postnikova // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2020. 594, 012028.

321. Swoboda P. Zera in on soil test results [Текст] / P. Swoboda // Wallaces Farmer. 1981. V. 106. № 23. P. 11.

322. Schachthabel, P. Beziehung zwischen des Phosphagehalt in Boden und der optimalen Phosphatdungung in lanngiahriren Feldveruschen [Текст] / P. Schachthabel, W. Foster // Z. Pflanzenemarch., Bodenkude. 1985. Bd. 148. № 4. S. 459-464.

323. Shevchenko, V.A. Regulation of agrophysical indicators of degraded sod-podzolic soil fertility using a system of fertilizers and predecessors [Текст] / V.A. Shevchenko, A.M. Soloviev, G.I. Bondareva, N.P. Popova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020, 548, 062032.

324. Vorobyov, V.A. Agronomic efficiency of potassium fertilizers in field crop rotation on well-cultivated sod-podzolic soils [Текст] / V.A. Vorobyov, G.V. Gavrilova, A.L. Toigildin, I.A. Toigildina // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. № 9(1). P. 139-143.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А - Морфологическое описание почвенных разрезов в агрофизическом стационаре в 2011 г.

Разрезы 1-3п (среднее) – полевой севооборот – среднеокультуренная почва

**Апах.** 0-22 см - серая, уплотнённая супесь, влажный, много мелких корней, включения гальки. Структура комковато-порошистая. Переход ровный, заметный по сложению.

**А<sub>1</sub>А<sub>2</sub>** 22-31 см - серый с белесыми и палевыми пятнами в нижней части горизонта, уплотнённый, мелкие корни, легкий суглинок, галька, структура комковато-порошистая. Переход языковатый, заметный по цвету.

**А<sub>2</sub>В** 31-48 см - палевый с белесыми пятнами, влажный, плотный, супесчаный, включения гальки, структура комковато-порошистая. Переход языковатый, слабо заметный.

**В** 48-79 см - цвет охристый с белесыми пятнами, влажный, плотный, легкий суглинок, включения гальки, структура комковато-глыбистая. Переход постепенный, нерезкий, слабо заметный.

**ВС** 79-115 см - цвет охристый в нижней части переходящий в палевый, влажный, плотный, моренный лёгкий суглинок, галька, структура комковато-глыбистая. Переход резкий, четкий по цвету и плотности.

**Д** гл. 115 см - желтоватый глубже красноватый песок, очень плотный, бесструктурный, равномерный, без включений.

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная среднеокультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 115 см озёрно-ледниковым песком.

Разрезы 4-6п (среднее) – полевой севооборот – хорошо окультуренная почва

**Апах.** 0-22 см - темно-серая, уплотнённая супесь, органолептически близкая к лёгкому суглинку, свежий, много мелких корней, ходы дождевых червей, полуразложившиеся органические остатки, включения гальки, структура комковато-ореховатая. Переход заметный по плотности и сложению.

**А<sub>1</sub>А<sub>2</sub>** 22-34 см - темно-серый с желтовато-бурыми пятнами в нижней части горизонта, более плотный, свежий, опесчаненный легкий суглинок, много корней, включения органических остатков, галька, структура комковато-ореховатая. Переход резкий, языковатый по цвету и плотности сложения.

**А<sub>2</sub>В** 34-50 см - палевая с белесыми и единичными охристыми пятнами супесь с включениями мелкой гальки, уплотнён, влажный, отдельные корни, единичными глинистыми пятнам, структура комковато-порошистая. Переход неровный, языковатый, заметный по цвету.

**В** 50-81 см - палевый с охристыми пятнами легкий суглинок с включениями гальки, уплотнённый, влажный. Единичные корни, структура комковато-глыбистая. Переход неровный, языковатый заметный по сложению.

**ВС** 81-108 см - цвет охристый, с палевыми пятнами, влажный, супесь, включения гальки и валунов, разложившихся на месте (дресва), структура комковато-глыбистая. Переход ровный, ясный по цвету и плотности сложения.

**Д** гл. 108 см - желтовато-красноватый песок, очень плотный, влажный, равномерный, бесструктурный, включений нет.

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная хорошо окультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 108 см озёрно-ледниковым песком.

Разрезы 7-9п (среднее) – полевой севооборот – высокоокультуренная почва

**Апах.** 0-22 см - темно-серая, слабо уплотненная супесь с включениями мелкой гальки (гранит), свежий, единичные валуны, много мелких корней и среднеразложившихся органических остатков, структура комковато-зернистая. Переход резкий по цвету и сложению.

**А<sub>1</sub>А<sub>2</sub>** 22-36см - темно-серая с желтовато-бурыми примазками в нижней части супесь с включениями гальки, более плотный, чем вышележащий, свежий, корней меньше, структура комковато-порошистая. Переход резкий по цвету, граница языковатая.

**А<sub>2</sub>В** 36-55 см - палево-белесый с бурными (охристыми) пятнами, плотный, свежий, супесь с суглинистыми пятнами неопределённой формы, гравий, отдельные валуны гранитного состава до 30 см в диаметре, редкие корни, структура комковато-ореховатая. Переход языковатый, нерезкий, слабозаметный по цвету и составу.

**В** 55-87 см - охристый с белесыми языковатыми пятнами легкий суглинок с прослойками супесчаного состава, плотный, свежий, включения гальки, валунов, корней нет, структура комковато-ореховатая. Переход постепенный, слабозаметный по плотности.

**ВС** 87-117 см - охристый с белесыми пятнами моренный лёгкий суглинок, плотный, свежий в верхней части и влажный – в нижней, галька, валуны, в том числе разрушенные на месте (дресва), структура комковато-глыбистая. Переход резкий, ясный по цвету, плотности и составу.

**Д** гл. 117 см - желтовато-красноватый озёрно-ледниковый песок, очень плотный, бесструктурный, однородный, влажный, включений нет.

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная высокоокультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 117 см озёрно-ледниковым песком.

Разрезы 1-3ок (среднее) – овощекормовой севооборот –  
среднеокультуренная почва

**Апах.** 0-22 см - светло-серая супесь, уплотнённая, свежая, структура непрочная комковато-порошистая, корни в обилии, ходы землероев. Переход ровный, заметный по цвету и сложению.

**А<sub>1</sub>А<sub>2</sub>** 22-32 см - палевая с серыми пятнами гумусовых затёков супесь, плотная, свежая, пронизана корнями в средней степени, структура выражена слабо, комковато-порошистая. Переход языковатый, по цвету.

**А<sub>2</sub>В** 32-43 см палевая с белёсой присыпкой супесь, уплотнённая, свежая, галька (кварцевая), бесструктурная. Переход неровный, заметный по цвету.

**В** 43-87 см – охристый с белесыми опесчаненными языками лёгкий суглинок, плотный, увлажнённый, структура комковато-глыбистая, единичные корни, отдельные валуны и дресва. Переход постепенный, неясный по цвету.

**ВС** 87-112 см - охристый (красноватый) с белесыми опесчаненными пятнами лёгкий суглинок, очень плотный, свежий, единичные корни, включения гранитной гальки, структура глыбистая. Переход ровный, заметный по цвету и сложению.

**Д** гл. 112 см - желтовато-красный бесструктурный озёрно-ледниковый песок.

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная среднеокультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 112 см озёрно-ледниковым песком.

Разрезы 4-бок (среднее) – овощекормовой севооборот –  
хорошо окультуренная почва

**Апах.** 0-22 см - темно-серая супесь, свежая, уплотнённая, структура комковато-зернистая, обилие крупных и мелких корней, среднеразложившиеся растительные остатки, включения гальки. Переход заметный по сложению.

**А<sub>1</sub>А<sub>2</sub>** 22-35 см - темно-серая с палевыми пятнами (преимущественно в нижней части горизонта) супесь, свежая, плотная, много мелких корней, есть срезы крупных корней, галька, структура комковато-порошистая. Переход языковатый, ясный по цвету.

**А<sub>2</sub>В** 35-46 см – палевая супесь, уплотнённая, свежая, галька (кварцевая), бесструктурная, отдельные корни. Переход неровный, заметный по цвету .

**В** 46-95 см охристый с многочисленными белесыми опесчаненными языковатыми пятнами лёгкий суглинок, свежий, плотный, комковато-глыбистый. Почти на границе – железистое пятно (конкреция) диаметром 3,5 см. Переход постепенный, неясный по цвету и составу.

**ВС** 95-117 см - охристый легкий суглинок, влажный, плотный, структура комковато-глыбистая, слабо выраженная, местами плитчатая. Переход резкий по цвету и составу.

**Д** гл. 117 см – желтовато-красноватый, рассыпчатый, бесструктурный озёрно-ледниковый песок, с линзой (8 см) кирпично красного цвета, по составу глинистой, вокруг линзы на несколько мм песок высветлен до светло-желтого.

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная хорошо окультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 117 см озёрно-ледниковым песком.

Разрезы 7-9ок (среднее) – овощекормовой севооборот –  
высокоокультуренная почва

**Апах.** 0-22 см - темно-серая супесь, плотная, свежая, структура комковато-ореховатая, очень много корней, полуразложившихся растительных остатков, ходы дождевых червей. Переход заметный по сложению.

**А<sub>1</sub>А<sub>2</sub>** 22-37 см - темно-серая с палевыми пятнами супесь, много корней, плотный, свежий, включения гальки (гранит), структура неоднородная, комковато-ореховатая, местами непрочная порошистая. Переход ясный, языковатый, заметный по цвету.

**А<sub>2</sub>В** 37-52 см - палевая с темно-серыми гумусовыми затеками супесь, свежая, плотная, галька, камни, мелкие корни, структура комковато-глыбистая. Переход неясный, по цвету.

**В** 52-95 см - белесый с охристыми (красными) пятнами, свежий, плотный, супесь с суглинистыми пятнами, галька, разрушенная на месте порода – дресва, структура выражена плохо, комковато-порошистая. Переход слабо заметный, постепенный неровный по цвету и составу.

**ВС** 95-128 см - охристый с белесоватыми пятнами лёгкий суглинок, влажный, плотный, структура плитчатая. Переход резкий по цвету и составу.

**Д** гл. 128 см – красный песок, влажный, плотный, супесь, бесструктурный.

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная высокоокультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 128 см озёрно-ледниковым песком.



ПРИЛОЖЕНИЕ Б - Морфологическое описание почвенных разрезов в агрофизическом стационаре в 2018 г.

Разрез 1п – полевой севооборот – среднеокультуренная почва – вариант НРКО

**Апах.** 0-24 см – пахотный слой, тёмно-серый с желтовато-палевыми следами припашки элювиального горизонта, супесчаный ближе к легкосуглинистому, комковато-порошистый, рыхлый, свежий, корни, валуны, ходы землероев. Переход резкий по цвету и плотности сложения.

**А<sub>2</sub>В** 24-36 см – переходный элювиально-иллювиальный горизонт, оранжево-палевый с белёсыми пятнами, супесчаный, бесструктурный, уплотнённый, свежий, единичные ходы землероев, корни, валуны и галька, единичные оглиненные охристые стяжения и железисто-марганцовистые дробинки. Переход языковатый, заметный по цвету.

**В** 36-74 см – иллювиальный горизонт, красно-коричневый (охристый) с белёсыми опесчаненными языками, легкосуглинистый, глыбистый, уплотнённый, увлажнённый, включения гальки. Переход в следующий горизонт ровный, заметный по цвету и отсутствию языков.

**ВС** 74-117 см – переходный иллювиальный горизонт, красно-коричневый с охристыми присыпками, комковато-глыбистый, опесчаненный суглинок, влажный, плотный, валуны в обилии, дресва. Переход в следующий горизонт резкий по цвету.

**Д** гл. 117 см – подстилающая порода, желтоватый озёрно-ледниковый песок, очень плотный, бесструктурный.

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная среднеокультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 117 см озёрно-ледниковым песком.

Разрез 2п – полевой севооборот – среднеокультуренная почва – вариант НРК1

**Апах.** 0-24 см – пахотный слой, тёмно-серый с желтовато-палевыми следами припашки элювиального горизонта, комковато-зернистый, рыхлый, легкосуглинистый, свежий, корни, валуны, ходы землероев в обилии. Переход резкий по цвету и сложению.

**А<sub>1</sub>А<sub>2</sub>** 24-31 см – переходный аккумулятивно-элювиальный горизонт, тёмно-серый, пылевато-комковатый, уплотнённый, легкосуглинистый, корни, валуны, переход языками.

**А<sub>2</sub>В** 31-43 см - переходный элювиально-иллювиальный горизонт, оранжево-палевый с белёсыми пятнами, супесчаный бесструктурный, уплотнённый, свежий, единичные ходы землероев, корни, валуны, единичные оглиненные

охристые стяжения и железисто-марганцовистые дробинки. Переход неровный, языковатый, заметный по цвету .

**В** 43-82 см – иллювиальный горизонт, охристый с белесыми языками, легкосуглинистый, глыбистый, уплотнённый, увлажнённый. переход в следующий горизонт постепенный, заметный по цвету и по отсутствию языков.

**ВС** 82-122 см – переходный иллювиально-почвообразующий горизонт, красно-коричневый с охристыми присыпками опесчаненный моренный суглинок комковато-глыбистый, влажный, плотный, валуны в обилии, охристые присыпки, дресва. Переход в следующий горизонт резкий, заметный по цвету.

**Д** гл. 122 см – подстилающая порода, желтоватый озёрно-ледниковый песок, очень плотный, бесструктурный.

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная среднеокультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 122 см озёрно-ледниковым песком.

#### Разрез 3п – полевой севооборот – среднеокультуренная почва – вариант NPK2

**Апах.** 0-24 см – пахотный слой, тёмно-серый с желтовато-палевыми следами припашки элювиального горизонта, супесчаный на границе с лёгким суглинком, комковато-зернистый, рыхлый, свежий, корни, валуны, ходы землероев в обилии. Переход резкий, заметный по цвету и сложению.

**А<sub>1</sub>А<sub>2</sub>** 24-33 см - переходный аккумулятивно-элювиальный горизонт, тёмно-серый с желтовато-палевыми пятнами кремнезёмистой присыпки, супесь ближе к лёгкому суглинку, структура непрочная комковато-порошистая, уплотнённый, корни, валуны. Переход неровный, языками.

**А<sub>2</sub>В** 33-46 см - переходный элювиально-иллювиальный горизонт, оранжево-палевый с белёсыми пятнами, супесчаный, бесструктурный, уплотнённый, свежий, единичные ходы землероев, корни, валуны, единичные оглиненные охристые стяжения железисто-марганцовистые дробинки, переход языковатый, заметный по цвету.

**В** 46-81 см – иллювиальный горизонт, красно-коричневый с белёсыми опесчаненными языками, легкосуглинистый, глыбистый, уплотнённый, увлажнённый, включения валунов. Переход в следующий горизонт ровный, заметный по цвету и отсутствию языков.

**ВС** 76-122 см – переходный иллювиально-почвообразующий горизонт, красно-коричневый с охристыми присыпками опесчаненный моренный суглинок, комковато-глыбистый, влажный, плотный, валуны в обилии, охристые присыпки, дресва. переход в следующий горизонт резкий по цвету.

**Д** гл. 122 см – подстилающая порода, желтоватый озёрно-ледниковый песок, очень плотный, бесструктурный, равномерный, без включений.

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная среднеокультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 122 см озёрно-ледниковым песком.

Разрез 4п – полевой севооборот – хорошо окультуренная почва – вариант  
NPK0

**Апах** 0-24 см – пахотный слой, тёмно-серый, супесчаный, комковато-порошистый, рыхлый, свежий, корни, валуны, ходы землероев в обилии. Переход резкий, заметный по цвету и сложению.

**A<sub>1</sub>** 24-36 см - гумусовый горизонт, тёмно-серый с отдельными остаточными следами палевой присыпки, супесчаный на границе с лёгким суглинком, пылевато-комковатый, рыхлый, корни, валуны. Переход неровный, языковатый, заметный по цвету.

**A<sub>2</sub>B** 36-47 см - переходный элювиально-иллювиальный горизонт, палево-жёлтый, супесчаный, порошистый почти бесструктурный, уплотнённый, свежий, единичные ходы землероев, корни, валуны, затёки органического вещества. Переход в следующий горизонт неровный, малозаметный по цвету.

**Bg** 47-79 см – иллювиальный с признаками оглеения горизонт, желтоватосизый с охристыми пятнами, легкосуглинистый, непрочный порошистый, плотный, более тяжёлый и плотный в нижней части, влажный. Переход ровный, заметный по цвету.

**BC** 79-112 – переходный иллювиально-почвообразующий горизонт, охристый с палевыми пятнами, легкосуглинистый, влажный, включения гальки и валунов, разложившихся на месте (дресва), структура крупнокомковатоглыбистая. Переход ровный, ясный по цвету и плотности сложения.

**D** гл. 112 см – подстилающая порода, желтоватый озёрно-ледниковый песок, очень плотный, бесструктурный, равномерный, без включений.

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная хорошо окультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 112 см озёрно-ледниковым песком.

Разрез 5п – полевой севооборот – хорошо окультуренная почва – вариант  
NPK1

**Апах** 0-24 см – пахотный горизонт, тёмно-серый, супесчаный, комковато-зернистый, рыхлый, свежий, корни, валуны, ходы землероев в обилии. Переход резкий по цвету и сложению.

**A<sub>1</sub>** 24-38 см - гумусовый горизонт, тёмно-серый с редкими желтовато-палевыми пятнами, пылевато-комковатый, рыхлый, легкосуглинистый, ходы землероев, корни, валуны. Переход неровный, заметный по цвету.

**A<sub>2</sub>B** 38-53 см – переходный элювиально-иллювиальный горизонт, оранжево-палевый с белёсыми пятнами, супесчаный, бесструктурный, уплотнённый, свежий, единичные ходы землероев, корни, валуны, единичные оглиненные охристые стяжения, затёки органического вещества по крупным порам. переход языковатый, заметный по цвету.

**B** 53-88 см – иллювиальный горизонт, мраморно-желтовато-красный с белёсыми языками, опесчаненный суглинок, охристые компоненты суглинистые и более плотные по сложению, плотный, влажный. Переход в следующий горизонт ровный, заметный по цвету и по отсутствию языков.

**BC** 88-106 – переходный иллювиально-почвообразующий горизонт, охристый с палевыми пятнами, легкосуглинистый, влажный, включения гальки и валунов, разложившихся на месте (дресва), структура крупнокомковато-глыбистая. Переход ровный, ясный по цвету и плотности сложения.

**D** гл. 106 см – подстилающая порода, желтоватый озёрно-ледниковый песок, плотный бесструктурный с признаками слоистости.

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная хорошо окультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 106 см озёрно-ледниковым песком.

Разрез бп – полевой севооборот – хорошо окультуренная почва – вариант  
NPK2

**Апах.** 0-24 см – пахотный слой, тёмно-серый, легкосуглинистый, комковато-зернистый, рыхлый, свежий, корни, валуны и ходы землероев в обилии. Переход ровный, хорошо заметный по плотности сложения.

**A<sub>1</sub>** 24-39 см - аккумулятивный (гумусовый) горизонт, тёмно-серый, супесчаный ближе к легкосуглинистому, рыхлый, свежий, комковато-порошистый, корни, валуны в обилии. Переход языковатый, заметный по цвету и сложению.

**A<sub>2</sub>B** 39-54 см – переходный элювиально-иллювиальный горизонт, желтовато-белёсый (палевый) с единичными оглиненными охристыми стяжениями, супесчаный бесструктурный, уплотнённый, свежий, единичные ходы землероев, корни, валуны. Переход языковатый, заметный по цвету.

**B** 54-79 см – иллювиальный горизонт, красно-коричневый (охристый) с палево-белёсыми опесчаненными языками, легкосуглинистый, комковато-глыбистый, уплотнённый. Валуны в обилии. Отдельные корни. Переход в следующий горизонт постепенный, заметный по цвету и по отсутствию языков.

**BC** 79-108 см – переходный иллювиально-почвообразующий горизонт, красно-коричневый, комковато-глыбистый, опесчаненный лёгкий суглинок, влажный, плотный, валуны в обилии, охристые присыпки, дресва. Переход в следующий горизонт ровный и резкий, заметный по цвету.

**Д** гл. 108 см – подстилаящая порода, желтоватый озёрно-ледниковый песок, плотный, влажный, бесструктурный, включений нет.

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная хорошо окультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 108 см озёрно-ледниковым песком.

Разрез 7п – полевой севооборот – высокоокультуренная почва – вариант  
НПК0

**Апах.** 0-24 см – пахотный слой, тёмно-серый, легкосуглинистый, комковато-зернистый, рыхлый, пожнивно-корневые остатки, корни, валуны, ходы землероев в обилии. Переход резкий, заметный по плотности.

**А<sub>1</sub>** 24-36 см - аккумулятивный гумусовый горизонт, тёмно-серый с желтовато-палевыми пятнами в нижней части, супесчаный ближе к легкосуглинистому, комковатый-пылеватый, рыхлый, корни, валуны, ходы землероев. Переход неровный, языковатый, заметный по цвету.

**А<sub>2</sub>В** 38-49 см – переходный элювиально-иллювиальный горизонт, желтовато-белёсый, супесчаный, бесструктурный, уплотнённый, свежий, единичные ходы землероев, корни, валуны, отдельные оглиненные охристые стяжения. Переход языковатый, заметный по цвету.

**В** 49-94 см – иллювиальный горизонт, красно-коричневый (охристый) с сизо-белесоватыми пятнами, супесчаный близко к легкосуглинистому, глыбистый, уплотнённый, влажный. Отдельные корни. Переход в следующий горизонт ровный, заметный по цвету и по отсутствию языков.

**ВС** 94-118 см – переходный иллювиально-почвообразующий горизонт, красно-коричневый, легкосуглинистый (опесчаненый суглинок), комковато-глыбистый, влажный, плотный, валуны в обилии, охристые присыпки, дресва. Переход в следующий горизонт резкий, ровный, заметный по цвету и составу.

**Д** гл. 118 см – подстилаящая порода, желтовато-красноватый озёрно-ледниковый песок, плотный бесструктурный, влажный

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная высокоокультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 118 см озёрно-ледниковым песком.

Разрез 8п – полевой севооборот – высокоокультуренная почва – вариант  
НПК1

**Апах.** 0-24 см – пахотный слой, тёмно-серый, легкосуглинистый, комковато-зернистый, рыхлый, корни, валуны, ходы землероев в обилии, полуразложившиеся пожнивно-корневые остатки. Переход ровный, хорошо заметный по плотности сложения.

**A<sub>1</sub>** 24-39 см - аккумулятивный гумусовый горизонт, тёмно-серый с желтоватыми пятнами в нижней части, легкосуглинистый, пылевато-комковатый, рыхлый, свежий, корни, валуны. Переход волнисто-языковатый, заметный по цвету

**A<sub>2</sub>B** 39-51 см – переходный элювиально-иллювиальный горизонт, желтовато-палевый, супесчаный, непрочной порошистой структуры, уплотнённый, свежий, единичные ходы землероев, корни, валуны, единичные оглиненные охристые стяжения, с затёками органического вещества. Переход языковатый, заметный по цвету.

**B** 51-88 см – иллювиальный горизонт, красно-коричневый с белесоватыми опесчаненными языками, опесчаненный легкий суглинок, глыбистый, уплотнённый, влажный. Отдельные корни и валунчики. Переход в следующий горизонт постепенный, ровный, заметный по цвету.

**BC** 88-121 см – переходный иллювиально-почвообразующий горизонт, красно-коричневый, опесчаненный моренный легкий суглинок, комковато-глыбистый, влажный, плотный, валуны в обилии, охристые присыпки, дресва. Переход в следующий горизонт резкий и ровный, хорошо заметный по цвету.

**D** гл. 121 см – подстилающая порода, желтоватый озёрно-ледниковый песок, плотный бесструктурный, влажный.

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная высококультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 121 см озёрно-ледниковым песком.

Разрез 9п – полевой севооборот – высококультуренная почва – вариант  
NPK2

**Апах.** 0-24 см – пахотный слой, тёмно-серый, супесчаный ближе к легкосуглинистому, комковато-зернистый с признаками порошистости, рыхлый, свежий, корни, валуны, ходы землероев в обилии. Переход ровный, заметный по плотности сложения.

**A<sub>1</sub>** 24-39 см - аккумулятивный гумусовый горизонт, тёмно-серый в нижней части с палевыми пятнами, супесчаный близко к легкосуглинистому, пылевато-комковатый, рыхлый, корни, валуны, переход языками.

**A<sub>2</sub>B** 39-52 см - переходный горизонт, желтовато-палевый, супесчаный с непрочной комковато-порошистой структурой, уплотнённый, свежий, единичные ходы землероев, корни, валуны, единичные оглиненные охристые стяжения, с затёками органического вещества, переход языковатый, заметный по цвету.

**B** 52-91 см – иллювиальный горизонт, красно-коричневый с сизовато-белесыми пятнами, опесчаненный легкий суглинок, комковато-глыбистый, уплотнённый, влажный. Отдельные корни и валуны в обилии. Переход в следующий горизонт ровный, заметный по цвету и по отсутствию языков.

**BC** 91-128 см – переходный иллювиально-почвообразующий горизонт, красно-коричневый, опесчаненый легкий суглинок, комковато-глыбистый, влажный, плотный, валуны в обилии, охристые присыпки, гриства, переход в следующий горизонт резкий по цвету.

**D** гл. 128 см – подстилающая порода, желтовато-красноватый озёрно-ледниковый песок, плотный, влажный.

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная высококультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 128 см озёрно-ледниковым песком.

Разрез 1ок – овощекормовой севооборот – среднекультуренная почва – вариант NPKO

**Апах.** 0-24 см – пахотный слой, серый, супесчаный, комковато-порошистый, свежий, рыхлый, обильно пронизан корнями, в нижней части остатки полуразложившейся соломы. Переход ровный, заметен по сложению.

**A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>** 24-31 см - аккумулятивно-элювиальный горизонт, серый с палевыми примазками, супесчаный ближе к легкосуглинистому, комковато-порошистый, сверху плотный внизу уплотнённый, свежий, корни в обилии, ходы землероев, растительные остатки, в том числе в обугленном состоянии, в нижней части железистые конкреции. Переход языковатый, заметный по цвету и сложению.

**A<sub>2</sub>B** 31-40 см – элювиально-иллювиальный горизонт, желтовато-палевый, супесчаный, бесструктурный, плотный, свежий, валуны, затёки органического вещества по крупным порам, дресва, отдельные железистые конкреции и железисто-марганцовистые дробинки. Переход языковатый, заметный по цвету.

**B** 40-82 см – иллювиальный горизонт, красно-коричневый с белёсыми языками, легкосуглинистый (опесчаненый средний суглинок), плотный, увлажнённый, отдельные корни, валуны и глиства в обилии. Переход постепенный, языковатый, заметный по цвету.

**BC** 82-111 см – переходный иллювиально-почвообразующий горизонт, красно-коричневый, комковато-глыбистый, опесчаненый среднесуглинистый, свежий, плотный, валуны в обилии, переход в следующий горизонт по сложению и грансоставу.

**D** гл. 111 см – подстилающая порода, желтовато-красный слоистый озёрно-ледниковый песок, рыхлый, влажный.

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная среднекультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 112 см озёрно-ледниковым песком.

Разрез 2ок – овощекормовой севооборот – среднеокультуренная почва – вариант НРК1

**Апах.** 0-24 см – пахотный слой, серый, супесчаный с ощущением легкой суглинистости, комковато-порошистый, обильно пронизан корнями, в нижней части остатки полуразложившейся соломы. Переход заметен по сложению.

**А<sub>1</sub>А<sub>2</sub>** 24-31 см - аккумулятивно-элювиальный горизонт, серый с палевыми примазками, супесчаный ближе к легкосуглинистому, комковато-порошистый, легкосуглинистый, уплотнённый, свежий, плотный, корни в обилии, ходы землероев, растительные остатки, в т.ч. в обугленном состоянии, в нижней части железистые конкреции. Переход языковатый, заметный по цвету и сложению.

**А<sub>2</sub>В** 31-45 см - элювиально-иллювиальный горизонт, желтовато-палевый, супесчаный, бесструктурный, плотный, свежий, валуны, затёки органического вещества по крупным порам, дресва, отдельные железистые конкреции и железисто-марганцовистые дробинки. Переход языковатый, заметный по цвету.

**В** 45-86 см - иллювиальный горизонт, красно-коричневый с белёсыми языками, легкосуглинистый (опесчаненный по языкам средний суглинок), от бесструктурного до глыбистого, плотный, увлажнённый, отдельные корни, валуны и дресва в обилии. Переход постепенный, языковатый, заметный по цвету.

**ВС** 86-106 см – переходный иллювиально-почвообразующий горизонт, красно-коричневый, комковато-глыбистый, опесчаненный среднесуглинистый, свежий, плотный, валуны в обилии. Переход в следующий горизонт ровный, по сложению и составу.

**Д** гл. 106 см - подстилающая порода, в верхней части красноцветный моренный песок, ниже желтоватый озёрно-ледниковый песок

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная среднеокультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 106 см моренным и далее озёрно-ледниковым песком.

Разрез 3ок – овощекормовой севооборот – среднеокультуренная почва – вариант НРК2

**Апах.** 0-24 см – пахотный слой, серый, супесчаный ближе к легкому суглинку, комковато-порошистый, обильно пронизан корнями, в нижней части остатки полуразложившейся соломы. Переход в следующий горизонт ровный, заметен по сложению.

**А<sub>1</sub>А<sub>2</sub>** 24-34 см - аккумулятивно-элювиальный горизонт, серый с палевыми примазками, супесчаный, комковато-порошистый, свежий, сверху плотный, ниже уплотнённый, корни в обилии, ходы землероев, растительные остатки,



в том числе, в обугленном состоянии, в нижней части железистые конкреции. Переход заметный, языковатый, по цвету и сложению.

**A<sub>2</sub>B** 34-46 см - переходный горизонт, желтовато-палевый, бесструктурный, супесчаный, плотный, свежий, валуны, затёки органического вещества по крупным порам, глиства, отдельные железистые конкреции и железисто-марганцовистые дробинки, переход языковатый, заметный по цвету.

**B** 46-92 см - иллювиальный горизонт, красно-коричневый средний суглинок с белёсыми опесчаненными языками, легкосуглинистый, структура от бесструктурного до глыбистого остсоения, плотный, увлажнённый, отдельные корни, валуны и дресва в обилии. Переход постепенный, языковатый, по цвету.

**BC** 92-117 см – переходный иллювиально-почвообразующий горизонт, красно-коричневый, легкосуглинистый (опесчаненный средний суглинок), комковато-глыбистый, свежий, плотный, валуны в обилии. Переход в следующий горизонт заметный по сложению и грансоставу.

**D** гл. 117 - подстилающая порода, желтовато-красный слоистый озёрно-ледниковый песок, рыхлый, влажный.

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная среднеокультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 117 см моренным и далее озёрно-ледниковым песком.

Разрез 4ок – овощекормовой севооборот – хорошо окультуренная почва – вариант NPKO

**Апах.** 0-24 см – пахотный слой, тёмно-серый, супесчаный (пылевато-песчаная супесь), структура мелкокомковато-порошистая, рыхлый, свежий, обильно пронизан корнями, в нижней части остатки хорошо разложившейся соломы. Переход в следующий горизонт заметен по сложению.

**A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>** 24-35 см – аккумулятивно-элювиальный горизонт, тёмно-серый с обильными палевыми примазками, пылевато-песчаная супесь, комковато-порошистый, свежий, более уплотнён, корни в обилии, ходы землероев, растительные остатки, в том числе обугленные, в нижней части железистые конкреции. Переход языковатый, заметный по цвету и сложению.

**A<sub>2</sub>B** 35-49 см – элювиально-иллювиальный переходный горизонт, желтовато-палевый, супесчаный, бесструктурный, плотный, свежий, валуны, затёки органического вещества по крупным порам, дресва, отдельные железистые конкреции. Переход неровный, языковатый, заметный по цвету.

**B** 49-89 см - иллювиальный горизонт, красно-коричневый, опесчаненный легкий суглинок, структурное состояние от бесструктурного до глыбистого, плотный, увлажнённый, отдельные корни, валуны и дресва в обилии. Переход в следующий горизонт языковатый, заметный по цвету.

**BC** 89-108 – переходный иллювиально-почвообразующий горизонт, красно-коричневый, местами охристый, легкосуглинистый влажный, плотный,

структура комковато-глыбистая, слабо выраженная, местами плитчатая. Переход резкий по цвету и составу.

**D** гл. 108 см - подстиляющая порода, желтовато-красный слоистый озёрно-ледниковый песок, рыхлый, влажный.

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная хорошо окультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 108 см озёрно-ледниковым песком.

Разрез 5ок – овощекормовой севооборот – хорошо окультуренная почва – вариант NPK1

**Апах.** 0-24 см - пахотный слой, тёмно-серый, легкосуглинистый, комковато-порошистый, обильно пронизан корнями, в нижней части остатки разложившейся соломы, переход в следующий горизонт заметен по сложению.

**A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>** 24-36 см - аккумулятивно-элювиальный горизонт, тёмно-серый с обильными палевыми примазками, пылевато-песчаная супесь, непрочный комковато-порошистый, свежий, уплотнённый, корни в обилии, ходы землероев, растительные остатки, в том числе в обугленном состоянии, в нижней части железистые конкреции. Переход языковатый, заметный по цвету и сложению.

**A<sub>2</sub>B** 36-54 см - переходный элювиально-иллювиальный горизонт, равномерный палевый, супесчаный, бесструктурный, плотный, свежий, валунчики, корни, дресва относительно равномерно, затёки органического вещества по крупным порам, отдельные железистые конкреции. Переход языковатый, заметный по цвету.

**B** 60-93 см - иллювиальный горизонт, красно-коричневый, лёгкий суглинок крупно-песчаный, от бесструктурного до глыбистого, плотный, увлажнённый, отдельные корни, валуны и дресва в обилии. Переход в следующий горизонт заметный по цвету, постепенный.

**BC** 93-104 – переходный иллювиально-почвообразующий горизонт, красно-коричневый, местами охристый, легкосуглинистый влажный, плотный, структура комковато-глыбистая, слабо выраженная. Переход резкий по цвету и составу.

**D** гл. 104 см - подстиляющая порода, желтовато-красный слоистый озёрно-ледниковый песок, рыхлый, влажный.

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная хорошо окультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 108 см озёрно-ледниковым песком.

Разрез бок – овощекормовой севооборот – хорошо окультуренная почва – вариант NPK2

**Апах.** 0-24 см - пахотный слой, тёмно-серый, легкосуглинистый пылевато-песчаный, комковато-порошистый, обильно пронизан корнями, в нижней части остатки разложившейся соломы. Переход в следующий горизонт ровный, заметен по сложению.

**A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>** 22-42 см - аккумулятивно-элювиальный горизонт, тёмно-серый с палевыми примазками, легкосуглинистый пылевато-песчаный, комковато-порошистый, уплотнённый, свежий, корни в обилии, ходы землероев, растительные остатки, в том числе в обугленном состоянии, в нижней части железистые конкреции. Переход языковатый, заметный по цвету и сложению.

**A<sub>2</sub>B** 42-70 см - элювиально-иллювиальный переходный горизонт, желтовато-палевый, супесчаный, бесструктурный, плотный, свежий, валуны, затёки органического вещества по крупным порам, дресва, отдельные железистые конкреции. Переход неровный, языковатый, заметный по цвету.

**B** 70-88см - иллювиальный горизонт, красно-коричневый, крупнопесчаная супесь на границе с лёгким суглинком, плотный, увлажнённый, отдельные корни, валуны и дресва в обилии. Переход в следующий горизонт постепенный, заметный по цвету и сложению.

**BC** 88-95 – переходный иллювиально-почвообразующий горизонт, красно-коричневый, местами охристый, легкосуглинистый, влажный, плотный, структура комковато-глыбистая, слабо выраженная. Переход резкий по цвету и составу.

**D** гл. 95 см - подстилающая порода, желтовато-красный слоистый озёрно-ледниковый песок, рыхлый, влажный.

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная хорошо окультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 95 см озёрно-ледниковым песком.

Разрез 7ок – овощекормовой севооборот – высокоокультуренная почва – вариант NPK0

**Апах.** 0-24 см - пахотный слой, тёмно-серый, легкосуглинистый пылеватый, комковато-зернистый, обильно пронизан корнями, в нижней части остатки разложившейся соломы. Переход в следующий горизонт заметен по сложению.

**A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>** 22-41 см - аккумулятивно-элювиальный горизонт, тёмно-серый с палевыми примазками, пылевато-песчаный лёгкий суглинок, комковато-порошистый, уплотнённый, свежий, корни в обилии, ходы землероев, растительные остатки, в том числе в обугленном состоянии, в нижней части железистые конкреции. Переход языковатый, заметный по цвету и сложению.

**A<sub>2</sub>B** 41-55 см - переходный горизонт, желтовато-палевый, бесструктурный,

супесчаный, плотный, свежий, валуны, обильные затёки органического вещества по ходам землероев, дресва, отдельные железистые конкреции. Переход неровный, языковатый, заметный по цвету.

**В** 55-98 см - иллювиальный горизонт, красно-коричневый с белесоватыми пятнами, опесчаненный легкий суглинок при доминировании суглинистого компонента, от бесструктурного до глыбистого, местами очень плотный, увлажнённый, отдельные корни, валуны и дресва в обилии. Переход в следующий горизонт постепенный языковатый, заметный по цвету.

**ВС** 98-134 см - переходный иллювиально-почвообразующий горизонт, красно-коричневый, легкосуглинистый, комковато-глыбистый, свежий, плотный, валуны в обилии. Переход в следующий горизонт по сложению и грансоставу.

**Д** гл. 134 см - подстилающая порода, красноцветный песок локальной морены, рыхлый, влажный.

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная высококультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 134 см моренным песком.

Разрез 8ок – овощекормовой севооборот – высококультуренная почва – вариант NPK1

**Апах.** 0-24 см- пахотный слой, тёмно-серый, пылеватый легкий суглинок, комковато-зернистый с признаками порошистости, обильно пронизан корнями, в нижней части хорошо разложившаяся солома. Переход ровный, по сложению.

**А<sub>1</sub>А<sub>2</sub>** 22-44 см - гумусовый горизонт, тёмно-серый с палевыми примазками, пылевато-песчаный, легкосуглинистый, комковато-порошистый, уплотнённый, свежий, уплотнённый, корни в обилии, ходы землероев, растительные остатки, в том числе в обугленном состоянии, в нижней части железистые конкреции. Переход неровный, языковатый, по цвету и сложению.

**А<sub>2</sub>В** 43-67 см - переходный горизонт, коричнево-палевый пятнистый, супесчаный, бесструктурный, плотный, свежий, валуны, затёки органического вещества по крупным порам, дресва, отдельные железистые конкреции. Переход в следующий горизонт малозаметный (по структуре и сложению похож на В1).

**В** 67-96 см - иллювиальный горизонт, красно-коричневый с белесоватыми пятнами, опесчаненный легкий суглинок при доминировании суглинистого компонента, от бесструктурного до глыбистого, местами очень плотный, увлажнённый, отдельные корни, валуны и дресва в обилии. Переход в следующий горизонт постепенный языковатый, заметный по цвету.

**ВС** 96-122 см - переходный иллювиально-почвообразующий горизонт, красно-коричневый, опесчаненный моренный суглинок, комковато-глыбистый, свежий, плотный, валуны в обилии. Переход в следующий горизонт ровный, заметный по сложению и грансоставу.

**D** 122-152 см – подстиляющая порода, 30 см красноцветного моренного песка, глубже озёрно-ледниковый песок, рыхлый, влажный.

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная высококультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 122 см моренным песком.

Разрез 9ок – овощекормовой севооборот – высококультуренная почва – вариант NPK2

**Апах.** 0-24 см - пахотный слой, тёмно-серый пылевато-песчаный легкий суглинок, вероятно, супесь, комковато-порошистый, обильно пронизан корнями, в нижней части остатки разложившейся соломы. Переход в следующий горизонт ровный, заметен по сложению.

**A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>** 22-45 см - аккумулятивно-элювиальный горизонт, тёмно-серый с палевыми примазками, пылевато-песчаный легкий суглинок, комковато-порошистый, уплотнённый, свежий, уплотнённый, корни в обилии, ходы землероев, растительные остатки, следы припашки, в том числе в обугленном состоянии, в нижней части железистые конкреции. Переход неровный, языковатый, заметный по цвету и сложению.

**A<sub>2</sub>B** 45-70 см - переходный горизонт, желтовато-палевый, бесструктурный, супесчаный, плотный, свежий, валуны, затёки органического вещества по крупным порам, дресва, отдельные железистые конкреции. Переход языковатый, заметный по цвету.

**B** 70-104 см - иллювиальный горизонт, красно-коричневый с белесыми опесчаненными языками, легкосуглинистый, глыбистый, по языкам бесструктурный, плотный, увлажнённый, отдельные корни, валуны и дресва в обилии. Переход в следующий горизонт языковатый, постепенный заметный по цвету.

**BC** 104-121 см - переходный иллювиально-почвообразующий горизонт, красно-коричневый, опесчаненный лёгкий суглинок, комковато-глыбистый, свежий, плотный, валуны в обилии. Переход заметный по сложению и гран-составу.

**D** 121-143 см – подстиляющая порода, 22 см красноцветный девонский песок локальной морены, далее озёрно-ледниковый песок, рыхлый, влажный.

Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная высококультуренная на маломощном моренном лёгком суглинке, подстилаемом с глубины 121 см моренным песком.

## ПРИЛОЖЕНИЕ В – Гранулометрический состав почвы опыта

Таблица В1 - Гранулометрический состав почвы опыта в 2011 г.

Горизонт почвы	Содержание гранулометрической фракции (размер частиц, мм), %						
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
1	2	3	4	5	6	7	8
Разрезы 1-3п (Полевой севооборот, среднеокультуренная почва)							
Апах.	19,8	40,8	23,8	5	4,8	5,8	15,6
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	21,2	40,5	23,7	4,6	4,3	5,7	14,6
А <sub>2</sub> В	27,4	44,5	15,4	2,8	4,5	5,4	12,7
В	25,5	39,9	10,2	3,8	3,9	16,7	24,4
ВС	27,4	41,8	8,5	1,4	6,7	14,2	22,3
D	37,2	54,5	2,5	2,3	1,6	1,9	5,8
Разрезы 4-6п (Полевой севооборот, хорошо окультуренная почва)							
Апах.	18,9	39,1	23,0	4,7	9,3	5,0	19,0
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	20,2	35,8	25,7	6,2	8,8	3,3	18,3
А <sub>2</sub> В	26,6	44,1	13,1	4,9	7,4	3,9	16,2
В	20,3	40,3	11,7	4,5	5,3	17,9	27,7
ВС	23,2	41,9	8,4	2,1	6,6	17,8	26,5
D	38,7	53,1	2,3	2,7	1,8	1,4	5,9
Разрезы 7-9п (Полевой севооборот, высокоокультуренная почва)							
Апах.	21,8	32,8	25,9	2,9	10,1	6,5	19,5
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	19,8	36,1	25,3	5,4	8,6	4,8	18,8
А <sub>2</sub> В	28,1	48,8	9,8	2,7	6,4	4,2	13,3
В	24,1	40,4	9,8	2,5	8,0	15,2	25,7
ВС	25,8	41,5	5,5	1,4	6,5	19,3	27,2
D	35,9	53,6	2,7	1,6	1,6	4,6	7,8
Разрезы 1-3ок (Ов.-корм. севооборот, среднеокультуренная почва)							
Апах.	19,6	44,3	21,6	5,2	4,9	4,4	14,5
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	21,7	36,5	25,5	6,2	4,9	5,2	16,3
А <sub>2</sub> В	24,1	46,3	15,3	3,7	5,8	4,8	14,3
В	19,6	41,5	12,7	3,3	7,4	15,5	26,2
ВС	24,5	39,3	9,6	2,8	7,2	16,6	26,6
D	36,9	53,7	2,8	2,3	0,9	3,4	6,6
Разрезы 4-6ок (Ов.-корм. севооборот, хорошо окультуренная почва)							
Апах.	21,0	37,3	24,7	4,8	7,1	5,1	17,0
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	19,6	36,4	26,4	3,8	7,7	6,1	17,6
А <sub>2</sub> В	23,2	43,5	15,3	4,1	8,4	5,5	18,0
В	21,5	40,4	10,3	3,7	9,1	15	27,8
ВС	23,3	42,5	6,7	2,4	7,8	17,3	27,5

Продолжение табл. В1

1	2	3	4	5	6	7	8
D	35,3	53,5	3,1	2,4	1,9	3,8	8,1
Разрезы 7-9ок (Ов.-корм. севооборот, высококультуренная почва)							
Апах.	20,7	37,8	23,2	3,1	8,5	6,7	18,3
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	20,4	35,1	27,5	5,9	6,7	4,4	17
А <sub>2</sub> В	19,7	43,4	18,8	4,3	7,9	5,9	18,1
В	20,2	39,3	11,9	2,6	9,9	16,1	28,6
BC	22,3	42,8	7,5	2,7	8,4	16,3	27,4
D	34,6	55,3	3,8	2,1	1,5	2,7	6,3

Таблица В2 – Гранулометрический состав почвы полевого севооборота  
в 2018 г.

Горизонт почвы	Содержание гранулометрической фракции (размер частиц, мм), %						
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
1	2	3	4	5	6	7	8
Разрез 1п (среднеокультуренная почва, NPK0)							
Апах.	20,4	39,7	24,4	5,9	5,2	4,4	15,5
А <sub>2</sub> В	26,6	42,5	18,3	2,7	5,3	4,6	12,6
В	26,4	39,4	10,6	2,9	4,8	15,9	23,6
ВС	27,2	40,7	9,1	2,0	6,9	14,1	23,0
Д	38,0	53,6	2,8	2,5	1,8	1,3	5,6
Разрез 2п (среднеокультуренная почва, NPK1)							
Апах.	20,9	40,1	23,8	4,3	4,6	6,3	15,2
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	21,1	41,0	22,4	4,5	4,8	6,2	15,5
А <sub>2</sub> В	27,9	43,5	15,8	3,2	4,6	5,0	12,8
В	24,6	39,7	10,4	2,5	4,5	18,3	25,3
ВС	27,1	40,8	8,3	1,7	5,8	16,3	23,8
Д	37,6	52,2	3,3	3,0	1,6	2,3	6,9
Разрез 3п (среднеокультуренная почва, NPK2)							
Апах.	21,3	41,4	23,5	4,6	4,1	5,1	13,8
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	22	41,9	21,3	5	4,4	5,4	14,8
А <sub>2</sub> В	28,1	43,8	15,6	2,9	4,8	4,8	12,5
В	25,3	38,9	9,9	3,2	5,4	17,3	25,9
ВС	26,8	41,4	7,9	2	7,3	14,6	23,9
Д	37,3	53,9	2,4	2,4	1,6	2,4	6,4
Разрез 4п (хорошо окультуренная почва, NPK0)							
Апах.	19	40,2	21,6	4,9	8,5	5,8	19,2
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	21	36,4	23,9	6,5	7,7	4,5	18,7
А <sub>2</sub> В	27,5	45	12,4	4,2	8	2,9	15,1
В	20,6	41,3	10,9	4,2	5,1	17,9	27,2
ВС	22,7	41,3	8,2	2,6	5,4	19,8	27,8
Д	38,2	52,2	3,5	2,9	1,9	1,3	6,1
Разрез 5п (хорошо окультуренная почва, NPK1)							
Апах.	20,3	40,7	20,4	5,4	6,2	7	18,6
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	21,6	37,2	22,8	6,1	7,9	4,4	18,4
А <sub>2</sub> В	28,4	47,1	11,6	3,9	8,2	0,8	12,9
В	19,8	40,9	10,5	4,4	5,5	18,9	28,8
ВС	23,5	42,1	9	2,8	5,6	17	25,4
Д	39	50,9	3,1	2,5	1,6	2,9	7
Разрез 6п (хорошо окультуренная почва, NPK2)							
Апах.	21,5	39,6	20,7	5,5	5,8	6,9	18,2



1	2	3	4	5	6	7	8
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	21,8	37,6	22,2	5,9	8,3	4,2	18,4
A <sub>2</sub> B	27,9	46,2	12	4	8,2	1,7	13,9
B	20,1	40,5	10,4	4,7	5,3	19	29
BC	24,4	42,2	8,1	3	4,8	17,5	25,3
D	38,3	51,4	4,1	3,1	1,8	1,3	6,2
Разрез 7п (высокоокультуренная почва, НРК0)							
Апах.	22,3	33,4	24,4	3,6	9,5	6,8	19,9
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	19,5	35,5	26,2	5,2	7,7	5,9	18,8
A <sub>2</sub> B	27,7	47,3	11,5	2,6	6,5	4,4	13,5
B	21,6	40,1	10,8	2,9	7,9	16,7	27,5
BC	25,2	41,8	6,3	2,2	6,6	17,9	26,7
D	39,4	50,4	3,6	1,8	2	2,8	6,6
Разрез 8п (высокоокультуренная почва, НРК1)							
Апах.	22,8	33,9	25	3,9	8,3	6,1	18,3
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	20,6	34,8	26,3	5,3	9,4	3,6	18,3
A <sub>2</sub> B	28,3	46,9	12,4	2,7	7,2	2,5	12,4
B	20,6	40,6	9,7	2,8	7,8	18,5	29,1
BC	24,6	41,5	7,9	2,7	5,7	17,6	26
D	36,8	51,7	2,8	2,3	2	4,4	8,7
Разрез 9п (высокоокультуренная почва, НРК2)							
Апах.	23,2	34,9	24,2	4,2	7,2	6,3	17,7
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	21,7	35,8	25,2	4,6	9,9	2,8	17,3
A <sub>2</sub> B	28,4	46,7	12,8	2,3	7,1	2,7	12,1
B	21,9	39,8	8,4	2,8	7,4	19,7	29,9
BC	23,8	42,2	6,5	2,9	7,2	17,4	27,5
D	35,8	52,2	3,6	2	2,6	3,8	8,4

Таблица В3 – Гранулометрический состав почвы овощекормового севооборота в 2018 г.

Горизонт почвы	Содержание гранулометрической фракции (размер частиц, мм), %						
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
1	2	3	4	5	6	7	8
Разрез 1ок (среднеокультуренная почва, NPK0)							
Апах.	21,4	43,9	20,7	5,7	5,2	3,1	14,0
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	22,2	37,2	23,7	5,8	4,8	6,3	16,9
A <sub>2</sub> B	25,2	45,9	16,4	3,9	6,2	2,4	12,5
B	19,3	40,8	12,2	3,6	7,5	16,6	27,7
BC	24,1	40,8	9,2	3,0	7,3	15,6	25,9
D	36,3	53,8	2,9	2,9	1,5	2,6	7,0
Разрез 2ок (среднеокультуренная почва, NPK1)							
Апах.	21,1	44,4	21,2	5,6	4,8	2,9	13,3
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	22,6	38,8	22,9	6,0	4,1	5,6	15,7
A <sub>2</sub> B	25,7	45,9	15,8	4,7	5,8	2,1	12,6
B	18,9	40,7	12,2	3,4	6,9	17,9	28,2
BC	23,6	39,0	10,0	3,6	7,7	16,1	27,4
D	37,2	52,6	3,3	2,5	1,1	3,3	6,9
Разрез 3ок (среднеокультуренная почва, NPK2)							
Апах.	21,8	43,2	22,1	5,2	5,1	2,6	12,9
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	22,7	38,5	23,6	5,6	3,8	5,8	15,2
A <sub>2</sub> B	26,2	46,2	15,7	3,6	5,1	3,2	11,9
B	19,5	40,7	11,3	3,1	6,9	18,5	28,5
BC	22,7	39,4	10,1	3,1	7,9	16,8	27,8
D	36,4	51,8	4,0	3,3	1,8	2,7	7,8
Разрез 4ок (хорошо окультуренная почва, NPK0)							
Апах.	20,8	38,6	23,2	5,6	6,1	5,7	17,4
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	20,2	36,9	25,7	4,2	7,2	5,8	17,2
A <sub>2</sub> B	23,6	43,6	16,8	4,5	8,1	3,4	16,0
B	20,9	38,9	11,4	3,2	8,8	16,8	28,8
BC	23,6	41,5	7,3	2,9	7,2	17,5	27,6
D	36,0	52,2	3,8	2,5	2,0	3,5	8,0
Разрез 5ок (хорошо окультуренная почва, NPK1)							
Апах.	21,5	39,3	22,6	5,8	5,7	5,1	16,6
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	19,9	38,0	26,2	4,4	7,0	4,5	15,9
A <sub>2</sub> B	24,9	44,3	15,2	4,3	8,4	2,9	15,6
B	20,2	40,1	10,4	3,8	7,2	18,3	29,3
BC	22,2	42,2	7,5	3,3	7,2	17,6	28,1
D	35,4	52,7	4,4	3,2	1,8	2,5	7,5
Разрез 6ок (хорошо окультуренная почва, NPK2)							

Продолжение табл. В3

1	2	3	4	5	6	7	8
Апах.	21,4	39,2	23,6	6,0	5,0	4,8	15,8
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	20,2	37,7	28,4	4,5	7,1	2,1	13,7
А <sub>2</sub> В	24,3	45,5	17,9	4,1	6,5	1,7	12,3
В	21,5	41,1	8,2	3,3	6,3	19,6	29,2
ВС	23,0	41,9	6,6	3,5	7,5	17,5	28,5
Д	35,4	52,2	3,6	1,8	1,3	5,7	8,8
Разрез 7ок (высококультуренная почва, НРК0)							
Апах.	20,5	37,3	24,5	3,7	9,3	4,7	17,7
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	19,8	36,0	28,3	6,2	7,4	2,3	15,9
А <sub>2</sub> В	21,9	43,3	19,4	4,9	8,0	2,5	15,4
В	20,1	40,7	9,1	2,3	9,2	18,6	30,1
ВС	22,8	41,8	6,4	2,8	8,3	17,9	29,0
Д	34,4	52,7	4,7	2,2	1,7	4,3	8,2
Разрез 8ок (высококультуренная почва, НРК1)							
Апах.	21,2	38,5	23,6	4,1	8,2	4,4	16,7
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	20,1	36,6	26,5	5,2	8,0	3,6	16,8
А <sub>2</sub> В	22,3	42,9	19,8	4,2	8,7	2,1	15,0
В	20,2	39,3	9,6	2,1	9,0	19,8	30,9
ВС	22,0	41,6	7,7	3,0	7,9	17,8	28,7
Д	34,0	53,9	4,0	2,2	2,0	3,9	8,1
Разрез 9ок (высококультуренная почва, НРК2)							
Апах.	20,5	38,9	24,8	3,5	8,8	3,5	15,8
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	20,5	36,7	26,8	5,9	8,3	1,8	16,0
А <sub>2</sub> В	22,6	42,8	20,3	3,9	9,0	1,4	14,3
В	21,0	39,0	8,8	2,2	8,8	20,2	31,2
ВС	21,2	42,1	7,4	3,0	7,5	18,8	29,3
Д	33,2	54,4	3,4	2,5	1,9	4,6	9,0

ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Общие физические и водно-физические свойства почвы  
Таблица Г1 - Общие физические и водно-физические свойства почвы опыта в  
2011 г.

Горизонт почвы	Свойство почвы, ед.изм.						
	$m_{об.}, \text{г/см}^3$	$m_{уд.}, \text{г/см}^3$	$V_{общ.}, \%$	МГ, %	ВУЗ, %	НВ, %	ДАВ, %
Разрезы 1-3п (Полевой севооборот, среднеоккультуренная почва)							
Апах.	1,32	2,62	49,6	4,2	6,3	21,8	15,5
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,55	2,65	41,5	3,8	5,7	18,3	12,6
A <sub>2</sub> B	1,51	2,70	44,1	2,7	4,1	15,3	11,2
B	1,63	2,58	36,8	5,8	8,7	29,4	20,7
Разрезы 4-6п (Полевой севооборот, хорошо окультуренная почва)							
Апах.	1,26	2,57	51,0	4,8	7,2	25,8	18,6
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,42	2,61	45,6	4,3	6,5	23,2	16,7
A <sub>2</sub> B	1,54	2,66	42,1	3,0	4,5	16,6	12,1
B	1,65	2,58	36,0	5,7	8,6	31,7	23,1
Разрезы 7-9п (Полевой севооборот, высокооккультуренная почва)							
Апах.	1,18	2,53	53,4	5,5	8,3	30,7	22,4
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,31	2,54	48,4	4,7	7,1	24,2	17,1
A <sub>2</sub> B	1,5	2,62	42,7	3,4	5,1	16,9	11,8
B	1,65	2,57	35,8	6,1	9,2	32,3	23,1
Разрезы 1-3ок (Ов.-корм. севооборот, среднеоккультуренная почва)							
Апах.	1,38	2,63	47,5	4,0	6,0	20,6	14,6
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,59	2,68	40,7	3,7	5,6	17,2	11,6
A <sub>2</sub> B	1,52	2,72	44,1	2,8	4,2	14,5	10,3
B	1,62	2,55	36,5	6,0	9,0	29,9	20,9
Разрезы 4-6ок (Ов.-корм. севооборот, хорошо окультуренная почва)							
Апах.	1,28	2,54	49,6	4,5	6,8	24,4	17,6
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,50	2,63	43,0	4,1	6,2	22,9	16,7
A <sub>2</sub> B	1,53	2,69	43,1	3,2	4,8	17,1	12,3
B	1,67	2,57	35,0	6,1	9,2	32,6	23,4
Разрезы 7-9ок (Ов.-корм. севооборот, высокооккультуренная почва)							
Апах.	1,25	2,51	50,2	5,3	8,0	28,6	20,6
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,47	2,58	43,0	4,7	7,1	25,2	18,1
A <sub>2</sub> B	1,58	2,66	40,6	3,0	4,5	17,8	13,3
B	1,67	2,52	33,7	6,9	10,4	33,9	23,5

Таблица Г2 – Общие физические и водно-физические свойства почвы  
полевого севооборота в 2018 г.

Горизонт почвы	Свойство почвы, ед.изм.						
	$m_{об.}$ , г/см <sup>3</sup>	$m_{уд.}$ , г/см <sup>3</sup>	$V_{обш.}$ , %	МГ, %	ВУЗ, %	НВ, %	ДАВ, %
1	2	3	4	5	6	7	8
Разрез 1п (среднеокультуренная почва, NPK0)							
Апах.	1,34	2,65	49,4	4,0	6,0	21,6	15,6
A <sub>2</sub> B	1,57	2,67	41,2	2,7	4,1	15,1	11,0
B	1,65	2,56	35,5	5,9	8,9	30,8	21,9
Разрез 2п (среднеокультуренная почва, NPK1)							
Апах.	1,33	2,64	49,6	4,3	6,5	22,4	15,9
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,58	2,66	40,6	3,8	5,7	18,0	12,3
A <sub>2</sub> B	1,56	2,69	42,0	2,6	3,9	15,1	11,2
B	1,67	2,57	35,0	5,8	8,7	31,2	22,5
Разрез 3п (среднеокультуренная почва, NPK2)							
Апах.	1,32	2,65	50,2	4,2	6,3	22,3	16,0
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,52	2,66	42,9	3,7	5,6	18,4	12,8
A <sub>2</sub> B	1,57	2,70	41,9	2,9	4,4	15,3	10,9
B	1,68	2,55	34,1	5,9	8,9	31,5	22,6
Разрез 4п (хорошо окультуренная почва, NPK0)							
Апах.	1,24	2,59	52,1	4,7	7,1	26,1	19,0
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,40	2,62	46,6	4,1	6,2	22,7	16,5
A <sub>2</sub> B	1,52	2,68	43,3	3,1	4,7	16,9	12,2
B	1,67	2,54	34,3	6,2	9,3	32,2	22,9
Разрез 5п (хорошо окультуренная почва, NPK1)							
Апах.	1,23	2,58	52,3	4,8	7,2	26,3	19,1
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,39	2,64	47,3	4,2	6,3	23,4	17,1
A <sub>2</sub> B	1,52	2,69	43,5	2,9	4,4	16,3	11,9
B	1,69	2,53	33,2	6,3	9,5	32,6	23,1
Разрез 6п (хорошо окультуренная почва, NPK2)							
Апах.	1,25	2,59	51,7	4,8	7,2	25,9	18,7
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,37	2,61	47,5	4,3	6,5	23,1	16,6
A <sub>2</sub> B	1,51	2,67	43,4	3,2	4,8	16,8	12,0
B	1,69	2,51	32,7	6,5	9,8	33,4	23,6
Разрез 7п (высокоокультуренная почва, NPK0)							
Апах.	1,22	2,56	52,3	5,3	8,0	28,8	20,8
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,33	2,61	49,0	4,5	6,8	23,7	16,9
A <sub>2</sub> B	1,51	2,66	43,2	3,2	4,8	16,5	11,7
B	1,69	2,52	32,9	6,3	9,5	33,9	24,4
Разрез 8п (высокоокультуренная почва, NPK1)							
Апах.	1,20	2,58	53,5	5,4	8,1	29,1	21,0

Продолжение табл. Г2

1	2	3	4	5	6	7	8
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,31	2,62	50,0	4,6	6,9	24,0	17,1
A <sub>2</sub> B	1,53	2,67	42,7	3,2	4,8	16,4	11,6
B	1,71	2,52	32,1	6,3	9,5	34,8	25,3
Разрез 9п (высокоокультуренная почва, НРК2)							
Апах.	1,23	2,58	52,3	5,3	8,0	28,7	20,7
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,34	2,61	48,7	4,7	7,1	23,8	16,7
A <sub>2</sub> B	1,52	2,69	43,5	3,4	5,1	16,7	11,6
B	1,73	2,51	31,1	6,8	10,2	35,5	25,3

Таблица Г3 – Общие физические и водно-физические свойства почвы  
овощекормового севооборота в 2018 г.

Горизонт почвы	Свойство почвы, ед.изм.						
	$m_{об.}$ , г/см <sup>3</sup>	$m_{уд.}$ , г/см <sup>3</sup>	$V_{общ.}$ , %	МГ, %	ВУЗ, %	НВ, %	ДАВ, %
1	2	3	4	5	6	7	8
Разрез 1ок (среднекультуренная почва, NPK0)							
Апах.	1,41	2,66	47,0	3,9	5,9	20,4	14,5
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,61	2,68	39,9	3,7	5,6	17,7	12,1
A <sub>2</sub> B	1,52	2,69	43,5	2,8	4,2	14,7	10,5
B	1,67	2,54	34,3	6,0	9,0	31,3	22,3
Разрез 2ок (среднекультуренная почва, NPK1)							
Апах.	1,38	2,64	47,7	4,1	6,2	22,0	15,8
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,59	2,68	40,7	3,6	5,4	17,9	12,5
A <sub>2</sub> B	1,50	2,68	44,0	2,7	4,1	14,1	10,0
B	1,70	2,51	32,3	6,1	9,2	31,9	22,7
Разрез 3ок (среднекультуренная почва, NPK2)							
Апах.	1,38	2,66	48,1	3,9	5,9	21,8	15,9
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,58	2,67	40,8	3,7	5,6	18,0	12,4
A <sub>2</sub> B	1,49	2,70	44,8	2,6	3,9	14,5	10,6
B	1,69	2,50	32,4	6,1	9,2	32,2	23,0
Разрез 4ок (хорошо окультуренная почва, NPK0)							
Апах.	1,28	2,62	51,1	4,5	6,8	25,4	18,6
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,43	2,65	46	4,0	6,0	21,4	15,4
A <sub>2</sub> B	1,53	2,68	42,9	3,2	4,8	14,9	10,1
B	1,69	2,52	32,9	6,5	9,8	33,7	23,9
Разрез 5ок (хорошо окультуренная почва, NPK1)							
Апах.	1,26	2,61	51,7	4,4	6,6	24,7	18,1
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,41	2,66	47,0	4,1	6,2	22,0	15,8
A <sub>2</sub> B	1,55	2,71	42,8	3,1	4,7	15,1	10,4
B	1,73	2,50	30,8	6,4	9,6	34,8	25,2
Разрез 6ок (хорошо окультуренная почва, NPK2)							
Апах.	1,28	2,63	51,3	4,6	6,9	24,5	17,6
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,41	2,67	47,2	4,1	6,2	21,7	15,5
A <sub>2</sub> B	1,52	2,71	43,9	3,3	5,0	15,6	10,6
B	1,72	2,48	30,6	6,5	9,8	35,5	25,7
Разрез 7ок (высококультуренная почва, NPK0)							
Апах.	1,25	2,55	51	5,1	7,7	26,9	19,2
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,39	2,57	45,9	4,3	6,5	22,4	15,9
A <sub>2</sub> B	1,54	2,65	41,9	3,2	4,8	17,3	12,5
B	1,72	2,48	30,6	6,6	9,9	36,1	26,2
Разрез 8ок (высококультуренная почва, NPK1)							

Продолжение табл. Г3

1	2	3	4	5	6	7	8
Апах.	1,23	2,56	52	5,2	7,8	26,4	18,6
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,38	2,59	46,7	4,4	6,6	22,3	15,7
A <sub>2</sub> B	1,55	2,66	41,7	3,4	5,1	18,1	13,0
B	1,74	2,46	29,3	6,7	10,1	37,0	26,9
Разрез 9ок (высококультуренная почва, НРК2)							
Апах.	1,27	2,57	50,6	5,2	7,8	25,8	18,0
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	1,38	2,62	47,3	4,3	6,5	22,7	16,2
A <sub>2</sub> B	1,53	2,66	42,5	3,3	5,0	18,3	13,3
B	1,74	2,45	29,0	6,8	10,2	37,4	27,2



## ПРИЛОЖЕНИЕ Д – Структурное состояние почвы опыта

Таблица Д1 - Структурное состояние почвы опыта в 2011 г.  
(сухой рассев по Савинову)

Горизонт почвы	Массовая доля (%) агрегатов по фракциям (мм)								Кстр.
	>10	5 - 10	3 - 5	1 - 3	0,5 - 1	0,25 – 0,5	<0,25	0,25-10	
Разрезы 1-3п (Полевой севооборот, среднекультуренная почва)									
Апах.	18,3	6,3	7,5	7	6,9	21,1	32,9	48,8	1,0
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	15,3	5,4	7,4	6,4	9,6	20,2	35,7	49	1,0
А <sub>2</sub> В	7,1	2,5	7,5	10,3	9,9	29,6	33,1	59,8	1,5
В	28,6	17,7	10,7	10,1	6,5	10,2	16,2	55,2	1,2
Разрезы 4-6п (Полевой севооборот, хорошо окультуренная почва)									
Апах.	12,5	14,4	14,7	12	10	19,3	17,1	70,4	2,4
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	13,9	12,1	9,7	13,8	12,3	22,1	16,1	70	2,3
А <sub>2</sub> В	6,8	2,3	3,2	4,7	7	39,1	36,9	56,3	1,3
В	31,7	18,3	12,2	7,2	5,5	6,4	18,7	49,6	1,0
Разрезы 7-9п (Полевой севооборот, высококультуренная почва)									
Апах.	9,3	16,7	15,3	12,2	13,1	20,9	12,5	78,2	3,6
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	11,9	12,3	11,4	14,6	10,8	25,7	13,3	74,8	3,0
А <sub>2</sub> В	7,3	3,7	3,8	5,9	9,6	33,7	36	56,7	1,3
В	33,4	19,2	14	8	4,7	5,2	15,5	51,1	1,0
Разрезы 1-3ок (Ов.-корм. севооборот, среднекультуренная почва)									
Апах.	11,2	8,9	9,4	7,7	5	15,6	42,2	46,6	0,9
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	14,3	7,3	8	5,6	7,7	20,7	36,4	49,3	1,0
А <sub>2</sub> В	5,7	3,8	8,3	8,8	8,9	28,7	35,8	58,5	1,4
В	31,6	20,8	8,5	8,8	5,3	10	15	53,4	1,1
Разрезы 4-6ок (Ов.-корм. севооборот, хорошо окультуренная почва)									
Апах.	9,2	10,4	11,4	9,2	7,3	28,7	23,8	67	2,0
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	13,7	11,4	8,3	14,6	9,6	19,6	22,8	63,5	1,7
А <sub>2</sub> В	5,3	3,5	4,4	5,6	9	32,1	40,1	54,6	1,2
В	34	19,6	12,5	10,3	5,1	6,8	11,7	54,3	1,2
Разрезы 7-9ок (Ов.-корм. севооборот, высококультуренная почва)									
Апах.	0,5	13,1	15,3	10,4	9,2	27,3	24,2	75,3	3,0
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	13,2	11,8	16,1	9,3	9,6	21,8	18,2	68,6	2,2
А <sub>2</sub> В	6,6	2,7	3,7	8,4	7,2	34,1	37,3	56,1	1,3
В	35,3	17,6	12,1	7,9	6	7,3	13,8	50,9	1,0

Таблица Д 2 – Структурное состояние почвы опыта в 2011 г.  
(мокрый рассев)

Горизонт почвы	Массовая доля (%) агрегатов по фракциям (мм)							Квп
	7 - 10	5 - 7	3 - 5	1 - 3	0,5 - 1	0,25 – 0,5	0,25-10	
Разрезы 1-3п (Полевой севооборот, среднекультуренная почва)								
Апах.	2,8	2,2	3,3	5,9	4,6	9,3	28,1	0,58
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	3,1	1,6	3,8	6,2	5,1	8,6	28,4	0,58
Разрезы 4-6п (Полевой севооборот, хорошо окультуренная почва)								
Апах.	2,4	4,2	6,7	12,3	6,2	15,5	47,3	0,67
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	3,6	2,9	6,1	13,1	6,7	16,9	49,3	0,70
Разрезы 7-9п (Полевой севооборот, высококультуренная почва)								
Апах.	6,4	4,3	8,4	15,8	6,6	13,8	55,3	0,71
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	5,1	3,8	7,2	17,6	6,8	16,0	56,5	0,76
Разрезы 1-3ок (Ов.-корм. севооборот, среднекультуренная почва)								
Апах.	2,2	3,6	4,6	3,6	3,8	9,3	27,1	0,58
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	3,8	3,4	4,3	3,4	2,1	7,1	24,1	0,49
Разрезы 4-6ок (Ов.-корм. севооборот, хорошо окультуренная почва)								
Апах.	4,6	4,8	6,2	6,2	4,4	15,0	41,2	0,61
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	4,8	3,6	6,8	6,8	6,5	16,8	38,5	0,61
Разрезы 7-9ок (Ов.-корм. севооборот, высококультуренная почва)								
Апах.	4,5	5,2	6,6	8,6	4,2	17,2	46,3	0,61
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	3,6	4,1	6,3	9,3	6,2	18,2	47,7	0,69

Таблица ДЗ – Структурное состояние почвы полевого севооборота в 2018 г.  
(сухой рассев)

Горизонт почвы	Массовая доля (%) агрегатов по фракциям (мм)								Кстр.
	>10	5 - 10	3 - 5	1 - 3	0,5 - 1	0,25 – 0,5	<0,25	0,25-10	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Разрез 1п (среднеокультуренная почва, NPK0)									
Апах.	15,2	4,3	5,6	7,4	6,2	23,7	37,6	47,2	0,9
А <sub>2</sub> В	10,4	3,7	6,2	6,5	9,3	28,4	35,5	54,1	1,2
В	30,7	19	9,6	10,8	6,0	6,3	17,6	51,7	1,1
Разрез 2п (среднеокультуренная почва, NPK1)									
Апах.	15,4	7,2	7,1	7,0	7,7	23,6	32,0	52,6	1,1
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	18,7	14,4	5,3	4,8	4,2	22,1	30,5	50,8	1,0
А <sub>2</sub> В	6,9	1,9	5,7	7,7	8,6	32,9	36,3	56,8	1,3
В	32,0	20,4	7,2	9,0	6,5	5,3	19,6	48,4	0,9
Разрез 3п (среднеокультуренная почва, NPK2)									
Апах.	17,0	8,0	7,2	7,4	6,5	22,9	31,0	52,0	1,1
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	19,4	16	4,7	6,1	3,5	20,5	29,8	50,8	1,0
А <sub>2</sub> В	5,7	2,2	6,7	6,8	7,3	33,7	37,6	56,7	1,3
В	32,9	21,3	8,6	8,5	4,7	4,2	19,8	47,3	0,9
Разрез 4п (хорошо окультуренная почва, NPK0)									
Апах.	10,4	11,3	12,8	9,6	10,4	18,4	27,1	62,5	1,7
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	15,5	12,6	11,1	8,1	11,2	21,6	19,9	64,6	1,8
А <sub>2</sub> В	6,4	4,3	3,5	5,2	10,7	35,6	34,3	59,3	1,5
В	33,4	22,6	10,7	7,3	6,1	4,9	15,0	51,6	1,1
Разрез 5п (хорошо окультуренная почва, NPK1)									
Апах.	11,0	12,9	11,7	10,7	9,8	19,5	24,4	64,6	1,8
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	14,8	12,5	13,0	7,8	10,6	18,7	22,6	62,6	1,7
А <sub>2</sub> В	7,3	4,0	4,1	5,2	9,6	36,8	33,0	59,7	1,5
В	35,3	24,4	8,3	6,3	5,7	5,3	14,7	50,0	1,0
Разрез 6п (хорошо окультуренная почва, NPK2)									
Апах.	9,1	13,5	11,6	11,5	9,3	20,3	24,7	66,2	2,0
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	13,8	13,7	9,4	12,4	11,5	22,2	17,0	69,2	2,2
А <sub>2</sub> В	5,5	5,0	3,2	6,1	6,0	34,9	39,3	55,2	1,2
В	35,7	25,1	9,0	5,2	4,2	4,3	16,5	47,8	0,9
Разрез 7п (высокоокультуренная почва, NPK0)									
Апах.	7,3	18,4	15,2	13	9,2	18,8	18,1	74,6	2,9
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	12,4	12,8	12,9	14,8	12,0	21,7	13,4	74,2	2,9
А <sub>2</sub> В	8,1	4,9	3,3	6,1	8,3	37,4	31,9	60,0	1,5

Продолжение табл. Д3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
В	35,7	26,9	7,4	4,4	4,4	3,7	17,5	46,8	0,9
Разрез 8п (высокоокультуренная почва, НРК1)									
Апах.	8,1	18,0	13,6	12,4	9,7	20,4	17,8	74,1	2,9
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	10,8	13,4	13,8	12,5	13,7	21,2	14,6	74,6	2,9
А <sub>2</sub> В	7,7	5,0	3,6	5,5	5,9	35,6	36,7	55,6	1,3
В	37,0	26,0	7,9	5,0	3,7	3,3	17,1	45,9	0,8
Разрез 9п (высокоокультуренная почва, НРК2)									
Апах.	7,3	19	14,7	13,5	8,3	19,3	17,9	74,8	3,0
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	11,6	12,8	14,5	14,2	12,3	20,0	14,6	73,8	2,8
А <sub>2</sub> В	8,4	5,6	3,7	6,5	6,0	35,9	33,9	57,7	1,4
В	37,8	27,3	7,1	3,5	4,0	2,8	17,5	44,7	0,8

Таблица Д4 – Структурное состояние почвы полевого севооборота в 2018 г.  
(мокрый рассев)

Горизонт почвы	Массовая доля (%) агрегатов по фракциям (мм)							Квп.
	7 - 10	5 - 7	3 - 5	1 - 3	0,5 - 1	0,25 - 0,5	0,25 - 10	
Разрез 1п (среднеокультуренная почва, NPK0)								
Апах.	2,5	2,6	3,5	5,0	5,1	8,7	27,4	0,58
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>								
Разрез 2п (среднеокультуренная почва, NPK1)								
Апах.	2,7	2,6	4,2	4,5	4,7	8,1	26,8	0,51
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	2,4	2,0	3,1	5,1	5,2	7,4	25,2	0,50
Разрез 3п (среднеокультуренная почва, NPK2)								
Апах.	2,2	2,3	4,4	5,2	4,2	7,6	25,9	0,50
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	2,7	2,5	3,6	5,1	6,0	7,3	27,2	0,54
Разрез 4п (хорошо окультуренная почва, NPK0)								
Апах.	3,1	3,6	5,7	11,9	6,4	12,3	43,0	0,69
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	3,5	3,2	6,0	12,5	6,8	14,1	46,1	0,71
Разрез 5п (хорошо окультуренная почва, NPK1)								
Апах.	2,9	3,9	5,5	12,2	8,1	12,1	44,7	0,69
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	3,4	3,7	5,8	12,2	7,3	13,3	45,7	0,73
Разрез 6п (хорошо окультуренная почва, NPK2)								
Апах.	3,3	4,0	6,0	11,7	7,3	12,5	44,8	0,68
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	3,6	3,7	6,2	12,7	7,5	13,8	47,5	0,69
Разрез 7п (высокоокультуренная почва, NPK0)								
Апах.	5,1	4,1	7,2	13,9	8,2	13,3	51,8	0,69
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	4,7	3,6	6,6	14,5	6,8	14,7	50,9	0,69
Разрез 8п (высокоокультуренная почва, NPK1)								
Апах.	5,3	3,9	6,5	13,5	8,4	13,8	51,4	0,69
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	4,9	3,6	7,1	14,9	7,5	14,4	52,4	0,70
Разрез 9п (высокоокультуренная почва, NPK2)								
Апах.	4,4	4,4	6,8	14,0	7,8	14,1	51,5	0,69
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	4,9	4,1	7,3	14,6	7,1	15,2	53,2	0,72

Таблица Д5 – Структурное состояние почвы овощекормового севооборота в 2018 г. (сухой рассев по Савинову)

Горизонт почвы	Массовая доля (%) агрегатов по фракциям (мм)								Кстр.
	>10	5 - 10	3 - 5	1 - 3	0,5 - 1	0,25 – 0,5	<0,25	0,25-10	
Разрез 1ок (среднеокультуренная почва, NPK0)									
Апах.	9,7	7,3	6,4	6,7	5,4	18,7	45,8	44,5	0,8
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	18,2	16,2	7,3	4,2	3,7	17,4	33	48,8	1,0
А <sub>2</sub> В	6,9	4,0	8,1	4,4	7,3	31,8	37,5	55,6	1,3
В	33,1	24,4	7,1	5,2	4,1	8,3	17,8	49,1	1,0
Разрез 2ок (среднеокультуренная почва, NPK1)									
Апах.	8,2	9,5	8,2	6,1	6,2	20,4	41,4	50,4	1,0
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	17,1	17,5	8,1	6,1	4,2	18,9	28,1	54,8	1,2
А <sub>2</sub> В	5,4	4,5	6,2	7,7	7,5	33,1	35,6	59,0	1,4
В	33,0	25,9	6,6	6,2	3,7	7,2	17,4	49,6	1,0
Разрез 3ок (среднеокультуренная почва, NPK2)									
Апах.	6,4	9,0	8,0	7,3	5,7	20,2	43,4	50,2	1,0
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	17,2	16,4	9,3	5,8	5,0	17,2	29,1	53,7	1,2
А <sub>2</sub> В	5,8	4,2	7,5	8,4	8,0	32,6	33,5	60,7	1,5
В	35,6	26,7	6,8	5,3	3,2	6,2	16,2	48,2	0,9
Разрез 4ок (хорошо окультуренная почва, NPK0)									
Апах.	6,5	12,1	10,7	11,3	6,9	20,5	32	61,5	1,6
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	16,6	12,5	9,6	13,2	8,4	18,3	21,4	62,0	1,6
А <sub>2</sub> В	7,2	3,9	7,3	4,5	9,0	32,7	35,4	57,4	1,3
В	36,2	23,7	9,6	9,6	4,8	6,5	9,6	54,2	1,2
Разрез 5ок (хорошо окультуренная почва, NPK1)									
Апах.	6,2	13,2	11,1	9,5	7,7	21,2	31,1	62,7	1,7
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	14,3	11,2	10,3	12,7	9,5	17,4	24,6	61,1	1,6
А <sub>2</sub> В	6,8	3,8	6,5	5,0	9,4	31,4	37,1	56,1	1,3
В	36,2	25,4	8,2	7,7	5,5	6,3	10,7	53,1	1,1
Разрез 6ок (хорошо окультуренная почва, NPK2)									
Апах.	5,4	14,4	8,2	9,3	8,0	21,6	33,1	61,5	1,6
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	14,0	10,8	11,3	13,3	9,7	16,9	24,0	62,0	1,6
А <sub>2</sub> В	7,7	4,5	4,8	4,5	11,6	30,3	36,6	55,7	1,3
В	37,3	25,0	9,2	5,8	4,5	5,5	12,7	50,0	1,0
Разрез 7ок (высокоокультуренная почва, NPK0)									
Апах.	2,6	12,7	14,5	12,8	10,9	20,4	26,1	71,3	2,5
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	16,2	13,0	14,6	8,7	9,4	18,5	19,6	64,2	1,8
А <sub>2</sub> В	6,0	3,6	4,2	5,9	9,3	32,5	38,5	55,5	1,2

Продолжение табл. Д5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
В	36,9	16,4	11,3	7,1	5,8	6,2	16,3	46,8	0,9
Разрез 8ок (высококультуренная почва, НРК1)									
Апах.	3,5	13,4	13,1	12,5	11,3	22,1	27,2	72,4	2,4
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	14,8	12,6	15,3	10,2	9,8	17,9	19,4	65,8	1,9
А <sub>2</sub> В	6,5	4,2	3,5	6,5	8,6	33,6	37,1	56,4	1,3
В	36,2	19,1	10,7	8,0	4,8	5,5	15,7	48,1	0,9
Разрез 9ок (высококультуренная почва, НРК2)									
Апах.	1,4	14,9	16,6	10,8	9,4	20,7	26,2	72,4	2,6
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	14,8	13,9	16,2	10,1	8,3	16,6	20,1	65,1	1,9
А <sub>2</sub> В	6,9	3,9	3,9	7,3	7,3	34,7	36,0	57,1	1,3
В	38,5	21,7	11,1	6,6	3,2	4,4	14,5	47,0	0,9

Таблица Д6 – Структурное состояние почвы овощекормового севооборота в 2018 г. (мокрый рассев)

Горизонт почвы	Массовая доля (%) агрегатов по фракциям (мм)							Квп.
	7 - 10	5 - 7	3 - 5	1 - 3	0,5 - 1	0,25 - 0,5	0,25 - 10	
Разрез 1ок (среднеокультуренная почва, NPK0)								
Апах.	1,8	2,5	3,5	3,2	3,5	6,8	21,3	0,48
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	2,6	2,8	4,2	3,8	2,6	5,3	21,3	0,44
Разрез 2ок (среднеокультуренная почва, NPK1)								
Апах.	2,1	2,3	3,2	3,7	3,6	6,1	21,0	0,42
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	2,4	2,8	4,1	4,1	2,8	5,6	21,8	0,40
Разрез 3ок (среднеокультуренная почва, NPK2)								
Апах.	1,5	2,1	3,4	3,8	3,2	6,1	20,1	0,40
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	2,1	2,5	3,9	4,4	2,9	5,0	20,8	0,39
Разрез 4ок (хорошо окультуренная почва, NPK0)								
Апах.	3,8	3,6	5,6	6	4,2	11,1	34,3	0,56
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	3,5	2,8	5,7	7,3	6,1	12,7	38,1	0,61
Разрез 5ок (хорошо окультуренная почва, NPK1)								
Апах.	3,5	3,9	5,1	7,2	4,0	10,7	34,4	0,56
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	3,3	3,1	5,8	8,2	6,5	12,5	39,4	0,64
Разрез 6ок (хорошо окультуренная почва, NPK2)								
Апах.	3,5	4,3	5,2	7,7	4,5	10,3	35,5	0,58
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	3,5	3,4	5,7	7,9	6,2	11,9	38,6	0,62
Разрез 7ок (высокоокультуренная почва, NPK0)								
Апах.	4,7	4,1	6,3	8,1	4,5	14,7	42,4	0,59
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	3,7	4,2	6,6	6,8	5,8	15,6	42,7	0,67
Разрез 8ок (высокоокультуренная почва, NPK1)								
Апах.	4,7	4,5	6,5	8,2	5,4	12,9	42,2	0,58
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	4,2	3,5	7,1	7,3	6,5	15,9	44,5	0,68
Разрез 9п (высокоокультуренная почва, NPK2)								
Апах.	4,9	5,0	6,2	8,0	5,8	13,2	43,1	0,60
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	3,9	4,1	7	6,5	7,1	16,3	44,9	0,69



## ПРИЛОЖЕНИЕ Е - Кислотно-основные свойства почвы

Таблица Е1 – Кислотно-основные свойства почвы опыта в 2011 г.

Горизонт почвы	Свойство почвы, ед.изм.							
	рН		Нобм.	А <sub>1</sub> подв.	Нг	Собм.	ЕКО	V, %
	Н <sub>2</sub> О	КСI						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Разрезы 1-3п (Полевой севооборот, среднекультуренная почва)								
Апах.	6,33	5,45	0,12	0,09	2,35	4,82	7,17	67
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	6,20	5,38	0,14	0,10	2,99	5,95	8,94	67
А <sub>2</sub> В	6,01	5,21	0,07	0,04	1,40	3,44	4,84	71
В	4,88	3,93	1,01	0,78	3,33	3,29	6,62	50
ВС	4,71	3,88	0,77	0,64	2,21	2,61	4,82	54
D	5,22	4,41	0,18	0,15	0,99	1,58	2,57	61
Разрезы 4-6п (Полевой севооборот, хорошо окультуренная почва)								
Апах.	6,67	5,73	0,08	0,03	2,21	6,23	8,44	74
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	6,81	6,02	0,05	0,02	2,02	6,55	8,57	76
А <sub>2</sub> В	6,02	5,22	0,06	0,03	1,37	3,63	5,00	73
В	5,08	4,22	0,34	0,25	3,03	3,48	6,51	54
ВС	4,85	4,08	0,69	0,48	1,65	2,62	4,27	61
D	5,27	4,29	0,11	0,08	1,18	1,62	2,80	58
Разрезы 7-9п (Полевой севооборот, высококультуренная почва)								
Апах.	7,02	6,24	0,03	0	1,37	7,84	9,21	85
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	7,13	6,28	0,04	0	1,28	7,55	8,83	86
А <sub>2</sub> В	6,41	5,66	0,18	0,03	0,69	3,99	4,68	85
В	6,01	5,15	0,24	0,08	2,89	3,26	6,15	53
ВС	5,38	4,70	0,59	0,39	1,81	5,63	7,44	76
D	4,77	3,94	0,11	0,08	0,98	1,77	2,75	64
Разрезы 1-3ок (Ов.-корм. севооборот, среднекультуренная почва)								
Апах.	6,04	5,23	0,14	0,11	2,82	5,03	7,85	64
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	6,50	5,68	0,13	0,05	2,16	5,60	7,76	72
А <sub>2</sub> В	5,82	4,97	0,09	0,06	1,44	3,23	4,67	69
В	4,57	3,77	1,36	0,93	2,74	3,65	6,39	57
ВС	4,44	3,54	0,91	0,74	3,19	2,48	5,67	44
D	4,81	4,04	0,15	0,09	0,95	2,02	2,97	68
Разрезы 4-6ок (Ов.-корм. севооборот, хорошо окультуренная почва)								
Апах.	6,82	5,94	0,05	0	1,98	6,62	8,60	77

Продолжение табл. Е1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	6,73	5,91	0,04	0	1,86	6,81	8,67	79
A <sub>2</sub> B	6,01	5,14	0,07	0,05	1,31	3,44	4,75	72
B	4,77	3,94	0,91	0,71	2,13	3,80	5,93	64
BC	4,98	4,15	0,83	0,69	3,33	2,88	6,21	46
D	5,07	4,3	0,14	0,08	0,97	2,20	3,17	69
Разрезы 7-9ок (Ов.-корм. севооборот, высококультуренная почва)								
Апах.	6,91	6,05	0,03	0	1,94	6,94	8,88	78
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	6,88	6,01	0,04	0	1,78	7,77	9,55	81
A <sub>2</sub> B	6,43	5,61	0,06	0,03	1,08	3,75	4,83	78
B	5,77	4,94	0,47	0,28	1,81	3,40	5,21	65
BC	5,09	4,22	0,66	0,41	1,78	5,20	6,98	74
D	4,96	4,08	0,16	0,10	1,02	5,00	6,02	83

Таблица Е2 – Кислотно-основные свойства почвы в полевом севообороте  
в 2018 г.

Горизонт почвы	Свойство почвы, ед.изм.							V, %
	рН		Нобм	Аподв.	Нг	Собм	ЕКО	
	Н2О	КСl						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Разрез 1п (среднеокультуренная почва, NPK0)								
Апах.	5,83	5,18	0,20	0,13	3,10	4,04	7,14	57
А <sub>2</sub> В	5,77	5,10	0,25	0,19	1,70	3,17	4,87	65
В	5,03	4,15	0,42	0,28	3,07	3,36	6,43	52
ВС	4,64	3,86	0,71	0,45	2,15	2,39	4,54	53
Д	5,37	4,73	0,20	0,11	0,76	1,23	1,99	62
Разрез 2п (среднеокультуренная почва, NPK1)								
Апах.	5,75	5,11	0,23	0,15	3,13	3,59	7,14	57
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	5,70	5,07	0,25	0,18	2,94	3,30	4,87	65
А <sub>2</sub> В	5,38	4,84	0,32	0,26	1,52	3,06	6,43	52
В	5,09	4,38	0,54	0,31	2,88	3,47	4,54	53
ВС	4,77	4,07	0,50	0,32	2,10	2,91	1,99	62
Д	5,22	4,56	0,14	0,06	0,82	1,30	7,14	57
Разрез 3п (среднеокультуренная почва, NPK2)								
Апах.	5,82	5,14	0,25	0,13	2,89	3,66	6,55	56
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	5,85	5,18	0,27	0,18	2,67	3,21	5,88	55
А <sub>2</sub> В	5,60	4,96	0,30	0,24	1,64	2,95	4,59	64
В	5,15	4,48	0,43	0,27	2,78	3,55	6,33	56
ВС	4,88	4,19	0,52	0,30	2,24	3,03	5,27	57
Д	5,49	4,76	0,11	0,06	0,73	1,69	2,42	70
Разрез 4п (хорошо окультуренная почва, NPK0)								
Апах.	6,89	6,06	0,04	0	1,68	6,79	8,47	80
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	6,71	5,93	0,05	0	1,75	6,41	8,16	79
А <sub>2</sub> В	5,88	5,12	0,09	0,05	1,15	3,21	4,36	74
В	5,43	4,78	0,22	0,12	2,29	3,59	5,88	61
ВС	4,95	4,24	0,37	0,21	1,50	3,47	4,97	70
Д	5,38	4,62	0,08	0,03	0,70	1,91	2,61	73
Разрез 5п (хорошо окультуренная почва, NPK1)								
Апах.	6,92	6,15	0,05	0	1,62	7,04	8,66	81
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	6,77	5,96	0,05	0	1,57	6,45	8,02	80
А <sub>2</sub> В	5,68	4,95	0,11	0,07	1,10	3,08	4,18	74

Продолжение табл. Е2								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
B	5,22	4,52	0,32	0,17	1,94	3,67	5,61	65
BC	4,90	4,18	0,25	0,14	1,81	3,35	5,16	65
D	5,31	4,57	0,06	0,03	0,72	1,76	2,48	71
Разрез 6п (хорошо окультуренная почва, NPK2)								
Апах.	6,85	6,02	0,03	0	1,59	6,95	8,54	81
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	6,80	5,94	0,05	0	1,64	6,48	8,12	80
A <sub>2</sub> B	6,72	5,81	0,10	0	0,99	3,60	4,59	78
B	5,41	4,60	0,28	0,15	1,72	3,51	5,23	67
BC	5,08	4,31	0,24	0,12	1,66	3,48	5,14	68
D	5,40	4,66	0,06	0,02	0,68	1,97	2,65	74
Разрез 7п (высокоокультуренная почва, NPK0)								
Апах.	7,22	6,41	0	0	1,22	7,20	8,42	86
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	7,18	6,36	0	0	1,14	6,61	7,75	85
A <sub>2</sub> B	6,44	5,65	0,11	0	0,68	3,20	3,88	82
B	5,41	4,63	0,15	0,08	1,21	3,90	5,11	76
BC	5,72	4,92	0,20	0,13	0,98	3,65	4,63	79
D	5,33	4,62	0,04	0,02	0,57	2,08	2,65	78
Разрез 8п (высокоокультуренная почва, NPK1)								
Апах.	7,11	6,32	0	0	1,28	7,15	8,43	85
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	7,07	6,24	0	0	1,10	6,69	7,79	86
A <sub>2</sub> B	6,58	5,76	0,05	0	0,79	3,06	3,85	79
B	5,53	4,78	0,14	0,08	1,30	4,15	5,45	76
BC	5,37	4,68	0,23	0,14	0,89	3,90	4,79	81
D	5,36	4,61	0,05	0,03	0,56	2,13	2,69	79
Разрез 9п (высокоокультуренная почва, NPK2)								
Апах.	7,18	6,35	0	0	1,34	7,37	8,71	85
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	7,12	6,28	0	0	1,25	7,49	8,74	86
A <sub>2</sub> B	6,50	5,67	0,07	0	0,96	2,95	3,91	75
B	5,69	4,85	0,16	0,10	1,42	4,04	5,46	74
BC	5,66	4,82	0,20	0,13	0,95	3,97	4,92	81
D	5,41	4,67	0,05	0,02	0,50	2,24	2,74	82

Таблица ЕЗ – Кислотно-основные свойства почвы в овощекормовом севообороте в 2018 г.

Горизонт почвы	Свойство почвы, ед.изм.							
	рН		Нобм	Алподв	Нг	Собм	ЕКО	V, %
	Н2О	КСI	СМОЛЬ(ЭКВ)/КГ					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Разрез 1ок (среднеокультуренная почва, NPK0)								
Апах.	5,83	5,16	0,26	0,15	2,64	4,22	6,86	62
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	6,15	5,41	0,18	0,09	2,28	3,54	5,82	61
А <sub>2</sub> В	5,73	5,03	0,25	0,17	1,93	1,87	3,8	49
В	5,29	4,53	1,25	0,72	2,08	3,54	5,62	63
ВС	4,64	3,80	0,95	0,57	3,22	3,02	6,24	48
Д	5,31	4,61	0,10	0,08	1,04	1,59	2,63	60
Разрез 2ок (среднеокультуренная почва, NPK1)								
Апах.	5,76	5,10	0,25	0,16	2,75	4,06	6,81	60
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	6,10	5,35	0,16	0,09	2,31	3,84	6,15	62
А <sub>2</sub> В	5,90	5,18	0,25	0,17	1,84	2,03	3,87	52
В	5,33	4,60	0,98	0,66	2,43	3,08	5,51	56
ВС	4,70	3,83	1,24	0,73	2,95	2,96	5,91	50
Д	5,26	4,55	0,18	0,08	1,10	1,62	2,72	59
Разрез 3ок (среднеокультуренная почва, NPK2)								
Апах.	5,73	5,02	0,25	0,17	3,07	4,10	6,88	57
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	6,06	5,31	0,15	0,06	2,52	3,43	5,95	58
А <sub>2</sub> В	5,74	5,08	0,25	0,18	1,98	1,98	3,96	50
В	5,38	4,60	0,92	0,62	2,27	2,96	5,23	57
ВС	4,81	3,91	1,12	0,70	2,83	2,73	5,56	49
Д	5,40	4,67	0,25	0,13	1,13	1,83	2,96	62
Разрез 4ок (хорошо окультуренная почва, NPK0)								
Апах.	6,60	5,87	0,07	0	2,15	6,38	8,53	75
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	6,51	5,74	0,08	0	2,36	5,59	7,95	70
А <sub>2</sub> В	5,76	5,06	0,21	0,10	1,40	1,97	3,37	58
В	5,53	4,76	0,61	0,41	2,34	3,70	6,04	61
ВС	4,85	4,28	0,75	0,55	2,41	3,08	5,49	56
Д	5,27	4,59	0,25	0,12	0,92	1,69	2,61	65
Разрез 5ок (хорошо окультуренная почва, NPK1)								
Апах.	6,65	5,92	0,06	0	2,06	6,40	8,46	76
А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	6,43	5,66	0,09	0,03	2,60	5,38	7,98	67
А <sub>2</sub> В	5,79	5,03	0,28	0,16	1,44	1,49	2,93	51
В	5,35	4,68	0,65	0,41	2,39	2,58	4,97	52
ВС	5,10	4,32	0,82	0,56	2,26	2,45	4,71	52

1	2	3	4	5	6	7	8	9
D	5,40	4,70	0,25	0,12	0,86	1,74	2,6	67
Разрез 6ок (хорошо окультуренная почва, NPK2)								
Апах.	6,72	5,90	0,05	0	2,00	6,64	8,64	77
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	6,60	5,86	0,06	0	2,18	6,05	8,23	74
A <sub>2</sub> B	5,95	5,27	0,24	0,12	1,29	1,77	3,06	58
B	5,30	4,62	0,62	0,35	2,58	2,69	5,27	51
BC	5,17	4,47	0,79	0,45	2,20	2,98	5,18	58
D	5,52	4,85	0,20	0,09	0,78	1,96	2,74	72
Разрез 7ок (высокоокультуренная почва, NPK0)								
Апах.	7,05	6,22	0	0	1,41	7,50	8,91	84
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	6,94	6,18	0	0	1,46	6,19	7,65	81
A <sub>2</sub> B	6,67	5,83	0,04	0	1,18	3,34	4,52	74
B	5,61	4,88	0,12	0,08	1,25	3,71	4,96	75
BC	5,05	4,29	0,84	0,51	1,37	4,72	6,09	78
D	5,73	4,90	0,17	0,09	0,81	2,12	2,93	72
Разрез 8ок (высокоокультуренная почва, NPK1)								
Апах.	6,93	6,14	0	0	1,53	7,20	8,73	82
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	6,90	6,13	0	0	1,74	6,65	8,39	79
A <sub>2</sub> B	6,49	5,77	0,05	0,02	1,26	3,19	4,45	72
B	5,83	5,02	0,13	0,08	1,32	3,80	5,12	74
BC	5,39	4,42	0,84	0,51	1,49	4,67	6,16	76
D	5,81	4,98	0,16	0,09	0,76	2,28	3,04	75
Разрез 9ок (высокоокультуренная почва, NPK2)								
Апах.	6,88	6,05	0,03	0	1,83	7,05	8,88	79
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	6,98	60,16	0	0	1,71	6,28	7,99	79
A <sub>2</sub> B	6,73	5,97	0,03	0	1,10	3,17	4,27	74
B	6,07	5,31	0,20	0,12	1,54	3,89	5,43	72
BC	5,38	4,50	0,72	0,48	1,71	4,65	6,36	73
D	5,60	4,73	0,24	0,11	0,89	2,40	3,29	73

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж – Экономические затраты воспроизводство плодородия,  
применение удобрений и уборку дополнительного урожая

Таблица Ж1 - Экономические затраты на воспроизводство плодородия почвы

Окультуренность	Денежные затраты по статьям и вариантам, руб/га							Всего
	Амортизация	ГСМ и электроэнергия	Заработная плата	Удобрения	Прочие прямые (10%)	Накладные (7%)	Отчисления в ГФ	
2003-2006гг (220 и 540 т/га навоза, 1 и 3 т/га извести)								
Хорошая	12477,85	13439,73	7606,88	23500,00	5702,45	4390,88	2297,28	69415,07
Высокая	31354,46	33832,14	19009,17	58500,00	14269,58	10987,57	5740,77	173693,69
1 ротация, 2006-2011 гг. (40 т/га навоза и 80т/га)								
Хорошая	2226,82	2372,73	1360,83	4000,00	996,04	766,95	410,97	12134,34
Высокая	4453,64	4745,45	2721,67	8000,00	1992,08	1533,90	821,94	24268,67

Таблица Ж2 - Структура затрат на воспроизводство плодородия почвы

Окультуренность	Денежные затраты по статьям и вариантам, %							Всего
	Амортизация	ГСМ и электроэнергия	Заработная плата	Удобрения	Прочие прямые	Накладные	Отчисления в ГФ	
2003-2006гг (220 и 540 т/га навоза, 1 и 3 т/га доломитовой муки)								
Хорошая	18,0	19,4	11,0	33,9	8,2	6,3	3,3	100,0
Высокая	18,1	19,5	10,9	33,7	8,2	6,3	3,3	100,0
1 ротация, 2006-2011 гг. (40 т/га навоза и 80т/га)								
Хорошая	18,4	19,6	11,2	33,0	8,2	6,3	3,4	100,0
Высокая	18,4	19,6	11,2	33,0	8,2	6,3	3,4	100,0

Таблица ЖЗ - Экономические затраты на применение удобрений и уборку  
дополнительного урожая в полевом севообороте

Варианты опыта	Денежные затраты по статьям и культурам, руб/га							Всего
	Амортизация техники	ГСМ и электроэнергия	Заработная плата	Удобрения	Прочия прямые (10%)	Накладные (7%)	Отчисления в ГФ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ячмень 2012								
Ср.-ок. NPK 1	1025,96	540,19	387,68	5411	736,48	567,09	117,08	8785,49
Ср.-ок. NPK 2	1350,37	699,38	494,85	6617	916,16	705,44	149,44	10932,64
Хор.-ок. NPK 0	380,41	699,38	160,69	0	124,05	95,52	48,53	1508,58
Хор.-ок. NPK 1	1394,48	687,57	502,98	5411	799,60	615,69	151,90	9563,23
Хор.-ок. NPK 2	1332,54	692,25	489,27	6617	913,11	703,09	147,76	10895,02
Выс.-ок. NPK 0	576,56	230,58	222,06	0	102,92	79,24	67,06	1278,43
Выс.-ок. NPK 1	1424,20	699,46	512,27	5411	804,69	619,61	154,71	9625,95
Выс.-ок. NPK 2	1605,96	801,59	574,81	6617	959,94	739,15	173,59	11472,04
2013 Мн Травы I г. п.								
Ср.-ок. NPK 1	3007,08	1170,17	1166,24	5411	1075,45	828,09	342,84	13000,87
Ср.-ок. NPK 2	3368,36	1325,49	1304,05	6617	1261,49	971,34	382,34	15230,08
Хор.-ок. NPK 0	3250,47	1115,52	1235,88	0	560,187	431,34	373,24	6966,641
Хор.-ок. NPK 1	2391,85	959,03	939,34	5411	874,219	673,15	274,32	10563,88
Хор.-ок. NPK 2	3481,15	1364,20	1345,65	6617	1280,8	986,22	394,90	15469,92
Выс.-ок. NPK 0	5526,83	1896,73	2075,42	0	949,898	731,42	626,78	11807,08
Выс.-ок. NPK 1	6001,20	2197,72	2270,50	5411	1588,04	1222,79	676,33	19367,58
Выс.-ок. NPK 2	7562,19	2764,75	2850,77	6617	1979,47	1524,19	849,45	24147,82
2014 Мн Травы II г. п.								
Ср.-ок. NPK 1	1888,73	698,54	727,90	2000	531,52	409,27	216,41	6472,37
Ср.-ок. NPK 2	3398,07	1266,87	1310,91	4000	870,90	670,59	389,07	10639,54
Хор.-ок. NPK 0	1312,49	450,43	501,21	0	226,41	174,33	151,36	2816,24
Хор.-ок. NPK 1	1909,24	705,57	735,73	2000	535,05	411,99	218,78	6516,37
Хор.-ок. NPK 2	3613,40	1340,77	1393,14	4000	1034,73	796,74	413,91	12592,69
Выс.-ок. NPK 0	1548,33	531,37	583,82	0	266,35	205,09	176,31	3311,27
Выс.-ок. NPK 1	2186,09	800,59	841,45	2000	582,81	448,76	250,71	7110,42
Выс.-ок. NPK 2	2967,41	1119,07	1146,45	4000	923,293	710,93	339,41	11206,57
2015 Озимая рожь								
Ср.-ок. NPK 1	938,10	479,81	326,42	4244	598,833	461,10	98,58	7146,84
Ср.-ок. NPK 2	1454,17	790,85	515,60	8489	1124,962	866,22	155,71	13396,51
Хор.-ок. NPK 0	873,76	349,44	284,14	0	150,734	116,06	85,81	1859,95
Хор.-ок. NPK 1	1514,66	710,39	513,91	4244	698,296	537,69	155,20	8374,14
Хор.-ок. NPK 2	2030,73	1021,43	703,09	8489	1224,425	942,81	212,33	14623,81
Выс.-ок. NPK 0	1248,23	499,20	405,92	0	215,335	165,81	122,59	2657,08
Выс.-ок. NPK 1	1942,62	881,55	653,08	4244	772,125	594,5363	197,23	9285,14
Выс.-ок. NPK 2	2167,44	1076,10	747,55	8489	1248,009	960,9669	225,76	14914,83
2016 Картофель								
Ср.-ок. NPK 1	1130,63	1035,76	3372,81	6200	1173,92	903,92	1018,59	14835,63
Ср.-ок. NPK 2	1798,94	1645,16	5381,34	9697	1852,24	1426,23	1625,16	23426,07



Продолжение табл. Ж3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Хор.-ок. NPK 0	2229,38	2175,68	3815,97	2450	1067,10	821,67	1152,42	13712,22
Хор.-ок. NPK 1	3486,16	3316,74	7623,53	8650	2307,64	1776,89	2302,31	29463,27
Хор.-ок. NPK 2	4500,38	4214,86	10825,37	12147	3168,76	2439,94	3269,26	40565,58
Выс.-ок. NPK 0	4218,65	4150,94	6804,53	4900	2007,41	1545,70	2054,97	25682,21
Выс.-ок. NPK 1	5650,42	5438,07	11215,12	11100	3340,36	2572,07	3386,97	42703,02
Выс.-ок. NPK 2	6356,71	6079,17	13355,80	14597	4038,87	3109,92	4033,45	51570,93
2017 Однолетние травы								
Ср.-ок. NPK 1	2272,73	902,49	893,13	4808	887,635	683,48	261,42	10708,88
Ср.-ок. NPK 2	4029,45	1566,63	1549,94	7213	1435,902	1105,64	455,63	17356,20
Хор.-ок. NPK 0	4480,94	1537,80	1689,69	1050	875,843	674,40	510,29	10818,96
Хор.-ок. NPK 1	5410,41	1979,30	2050,33	5858	1529,804	1177,95	610,90	18616,69
Хор.-ок. NPK 2	6418,60	2386,55	2431,08	8263	1949,923	1501,44	721,74	23672,33
Выс.-ок. NPK 0	5403,78	1854,51	2030,04	2100	1138,833	876,90	613,07	14017,13
Выс.-ок. NPK 1	6220,46	2257,30	2349,09	6908	1773,485	1365,58	701,12	21575,04
Выс.-ок. NPK 2	6726,22	2492,12	2544,53	9313	2107,587	1622,84	756,00	25562,30
Итого по севообороту								
Ср.-ок. NPK 1	10263,23	4826,96	6874,18	28074	5003,84	3852,95	2054,92	60950,08
Ср.-ок. NPK 2	15399,36	6027,51	10556,69	42633	7461,66	5745,47	3157,35	90981,04
Хор.-ок. NPK 0	12527,45	6328,25	7687,58	3500	3004,33	2313,33	2321,65	37682,59
Хор.-ок. NPK 1	16106,8	7399,57	12365,82	31574	6744,62	5193,36	3713,41	83097,58
Хор.-ок. NPK 2	21376,8	11020,06	17187,60	46133	9571,75	7370,24	5159,9	117819,35
Выс.-ок. NPK 0	18522,38	9163,33	12121,79	7000	4680,75	3604,18	3660,78	58753,21
Выс.-ок. NPK 1	23424,99	12274,69	17841,51	35074	8861,52	6823,37	5367,07	109667,15
Выс.-ок. NPK 2	27385,93	14332,8	21219,91	49633	11257,16	8668,02	6377,66	138874,48

Таблица Ж4 - Структура затрат на применение удобрений и уборку  
дополнительного урожая в полевом севообороте

Варианты опыта	Денежные затраты по статьям и культурам, руб/га							Всего
	Амортизация техники	ГСМ и эл. эн.	Заработная плата	Удобрения	Прочие прямые (10%)	Накладные (7%)	Отчисления в ГФ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ячмень 2012								
Ср.-ок. NPK 1	11,7	6,1	4,4	61,6	8,4	6,5	1,3	100,0
Ср.-ок. NPK 2	12,4	6,4	4,5	60,4	8,4	6,5	1,4	100,0
Хор.-ок. NPK 0	25,2	46,4	10,7	0,0	8,2	6,3	3,2	100,0
Хор.-ок. NPK 1	14,6	7,2	5,3	56,5	8,4	6,4	1,6	100,0
Хор.-ок. NPK 2	12,2	6,4	4,5	60,7	8,4	6,5	1,4	100,0
Выс.-ок. NPK 0	45,1	18,0	17,4	0,0	8,1	6,2	5,2	100,0
Выс.-ок. NPK 1	14,8	7,3	5,3	56,2	8,4	6,4	1,6	100,0
Выс.-ок. NPK 2	14,0	7,0	5,0	57,7	8,4	6,4	1,5	100,0
2013 Мн Травы I г. п.								
Ср.-ок. NPK 1	23,1	9,0	9,0	41,6	8,3	6,4	2,6	100,0
Ср.-ок. NPK 2	22,1	8,7	8,6	43,4	8,3	6,4	2,5	100,0
Хор.-ок. NPK 0	46,7	16,0	17,7	0,0	8,0	6,2	5,4	100,0
Хор.-ок. NPK 1	22,6	9,0	8,9	51,2	8,3	6,4	2,6	100,0
Хор.-ок. NPK 2	22,5	8,8	8,7	42,8	8,3	6,4	2,6	100,0
Выс.-ок. NPK 0	46,8	16,1	17,6	0,0	8,0	6,2	5,3	100,0
Выс.-ок. NPK 1	31,0	11,3	11,7	27,9	8,2	6,3	3,5	100,0
Выс.-ок. NPK 2	31,3	11,4	11,8	27,4	8,2	6,3	3,5	100,0
2014 Мн Травы II г. п.								
Ср.-ок. NPK 1	29,2	10,8	11,2	30,9	8,2	6,3	3,3	100,0
Ср.-ок. NPK 2	31,9	11,9	12,3	37,6	8,2	6,3	3,7	100,0
Хор.-ок. NPK 0	46,6	16,0	17,8	0,0	8,0	6,2	5,4	100,0
Хор.-ок. NPK 1	29,3	10,8	11,3	30,7	8,2	6,3	3,4	100,0
Хор.-ок. NPK 2	28,7	10,6	11,1	31,8	8,2	6,3	3,3	100,0
Выс.-ок. NPK 0	46,8	16,0	17,6	0,0	8,0	6,2	5,3	100,0
Выс.-ок. NPK 1	30,7	11,3	11,8	28,1	8,2	6,3	3,5	100,0
Выс.-ок. NPK 2	26,5	10,0	10,2	35,7	8,2	6,3	3,0	100,0
2015 Озимая рожь								
Ср.-ок. NPK 1	13,1	6,7	4,6	59,4	8,4	6,5	1,4	100,0
Ср.-ок. NPK 2	10,9	5,9	3,8	63,4	8,4	6,5	1,2	100,0
Хор.-ок. NPK 0	47,0	18,8	15,3	0,0	8,1	6,2	4,6	100,0
Хор.-ок. NPK 1	18,1	8,5	6,1	50,7	8,3	6,4	1,9	100,0
Хор.-ок. NPK 2	13,9	7,0	4,8	58,0	8,4	6,4	1,5	100,0
Выс.-ок. NPK 0	47,0	18,8	15,3	0,0	8,1	6,2	4,6	100,0
Выс.-ок. NPK 1	20,9	9,5	7,0	45,7	8,3	6,4	2,1	100,0
Выс.-ок. NPK 2	14,5	7,2	5,0	56,9	8,4	6,4	1,5	100,0
2016 Картофель								
Ср.-ок. NPK 1	7,6	7,0	22,7	41,8	7,9	6,1	6,9	100,0
Ср.-ок. NPK 2	7,7	7,0	23,0	41,4	7,9	6,1	6,9	100,0

Продолжение табл. Ж4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Хор.-ок. NPK 0	16,3	15,9	27,8	17,9	7,8	6,0	8,4	100,0
Хор.-ок. NPK 1	11,8	11,3	25,9	29,4	7,8	6,0	7,8	100,0
Хор.-ок. NPK 2	11,1	10,4	26,7	29,9	7,8	6,0	8,1	100,0
Выс.-ок. NPK 0	16,4	16,2	26,5	19,1	7,8	6,0	8,0	100,0
Выс.-ок. NPK 1	13,2	12,7	26,4	26,0	7,8	6,0	7,9	100,0
Выс.-ок. NPK 2	12,3	11,8	25,9	28,3	7,8	6,1	7,8	100,0
2017 Однолетние травы								
Ср.-ок. NPK 1	21,2	8,4	8,3	44,9	8,3	6,4	2,4	100,0
Ср.-ок. NPK 2	23,2	9,0	8,9	41,6	8,3	6,4	2,6	100,0
Хор.-ок. NPK 0	41,4	14,2	15,6	9,7	8,1	6,2	4,7	100,0
Хор.-ок. NPK 1	29,1	10,6	11,0	31,5	8,2	6,3	3,3	100,0
Хор.-ок. NPK 2	27,1	10,1	10,3	34,9	8,2	6,3	3,0	100,0
Выс.-ок. NPK 0	38,6	13,2	14,5	15,0	8,1	6,3	4,4	100,0
Выс.-ок. NPK 1	28,8	10,5	10,9	32,1	8,2	6,3	3,2	100,0
Выс.-ок. NPK 2	26,3	9,7	10,0	36,4	8,3	6,3	3,0	100,0
Итого по севообороту								
Ср.-ок. NPK 1	16,8	7,9	11,3	46,1	8,2	6,3	3,4	100,0
Ср.-ок. NPK 2	16,9	6,6	11,6	46,9	8,2	6,3	3,5	100,0
Хор.-ок. NPK 0	33,2	16,8	20,4	9,3	8,0	6,1	6,2	100,0
Хор.-ок. NPK 1	19,4	8,9	14,9	38,0	8,1	6,2	4,5	100,0
Хор.-ок. NPK 2	18,1	9,4	14,6	39,2	8,1	6,3	4,4	100,0
Выс.-ок. NPK 0	31,5	15,6	20,6	11,9	8,0	6,2	6,2	100,0
Выс.-ок. NPK 1	21,4	11,2	16,3	32,0	8,1	6,2	4,9	100,0
Выс.-ок. NPK 2	19,7	10,3	15,3	35,8	8,1	6,2	4,6	100,0

Таблица Ж5 - Экономические затраты на применение удобрений и уборку  
дополнительного урожая в овощекормовом севообороте

Варианты опыта	Денежные затраты по статьям и культурам, руб/га							Всего
	Амортизация техники	ГСМ и электроэнергия	Заработная плата	Удобрения	Прочие прямые (10%)	Накладные (7%)	Отчисления в ГФ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Картофель 2012								
Ср.-ок. NPK 1	1459,60	1324,71	4424,82	7206	1441,51	1109,97	1336,30	18302,91
Ср.-ок. NPK 2	1655,35	1514,21	4950,88	8994	1711,44	1317,81	1495,17	21638,87
Хор.-ок. NPK 0	946,84	790,32	3262,95	0	500,01	385,01	985,41	6870,54
Хор.-ок. NPK 1	1470,45	1333,77	4462,22	7206	1447,24	1114,38	1347,59	18381,65
Хор.-ок. NPK 2	2249,49	2010,14	6998,40	8994	2025,20	1559,41	2113,52	25950,16
Выс.-ок. NPK 0	1715,98	1432,31	5913,51	0	906,18	697,76	1785,88	12451,62
Выс.-ок. NPK 1	2121,58	1877,26	6706,08	7206	1791,09	1379,14	2025,24	23106,39
Выс.-ок. NPK 2	2789,38	2460,78	8858,94	8994	2310,31	1778,94	2675,40	29867,75
Озимая пшеница 2013								
Ср.-ок. NPK 1	760,53	444,35	288,58	6597	809,05	622,97	87,15	9609,62
Ср.-ок. NPK 2	912,09	604,28	358,97	10803	1267,83	976,23	108,41	15030,82
Хор.-ок. NPK 0	743,79	275,75	253,57	0	127,31	98,03	76,58	1575,03
Хор.-ок. NPK 1	1453,02	701,08	524,66	6597	927,58	714,23	158,45	11076,02
Хор.-ок. NPK 2	1867,47	958,47	684,67	10803	1431,36	1102,15	206,77	17053,89
Выс.-ок. NPK 0	1808,17	670,35	616,44	0	309,50	238,31	186,16	3828,93
Выс.-ок. NPK 1	2126,27	950,68	754,18	6597	1042,81	802,97	227,76	12501,67
Выс.-ок. NPK 2	2483,02	1186,68	894,52	10803	1536,72	1183,28	270,15	18357,37
Люпин узколистный 2014								
Ср.-ок. NPK 1	490,13	852,26	367,97	8000	971,04	747,70	111,13	11540,22
Ср.-ок. NPK 2	595,33	986,66	420,65	12000	1400,26	1078,20	127,04	16608,15
Хор.-ок. NPK 0	1021,54	2130,75	959,0	0	411,13	316,57	289,63	5128,62
Хор.-ок. NPK 1	1513,05	2985,89	1328,3	8000	1382,72	1064,70	401,14	16675,80
Хор.-ок. NPK 2	1961,53	3836,30	1703,2	12000	1950,10	1501,58	514,38	23467,09
Выс.-ок. NPK 0	913,79	1906,00	857,87	0	367,77	283,18	259,08	4587,69
Выс.-ок. NPK 1	1537,92	3037,75	1351,64	8000	1392,73	1072,40	408,19	16800,63
Выс.-ок. NPK 2	1562,99	3005,03	1329,10	12000	1789,71	1378,08	401,39	21466,30
Столовая свёкла 2015								
Ср.-ок. NPK 1	400,63	696,35	13878,5	8000	2297,55	1769,11	4191	31233,14
Ср.-ок. NPK 2	588,54	1016,63	19906,96	12000	3351,21	2580,43	6012	45455,78
Хор.-ок. NPK 0	203,47	457,80	14945,9	0	1560,72	1201,75	4514	22883,64
Хор.-ок. NPK 1	647,03	1250,75	31978,2	8000	4187,60	3224,45	9657	58945,03
Хор.-ок. NPK 2	899,74	1716,83	42766,5	12000	5738,31	4418,50	12915	80454,87
Выс.-ок. NPK 0	316,53	712,20	23251,4	0	2428,01	1869,57	7022	35599,71
Выс.-ок. NPK 1	760,09	1505,15	40283,6	8000	5054,88	3892,26	12166	71661,98
Выс.-ок. NPK 2	968,27	1871,03	47800,8	12000	6264,01	4823,29	14436	88163,40
Капуста белокачанная 2016								
Ср.-ок. NPK 1	701,49	1339,11	10144,15	9367	2155,18	1659,48	3064	28430,41
Ср.-ок. NPK 2	825,83	1499,27	904,90	14050	1728,00	1330,56	273	20611,56
Хор.-ок. NPK 0	1816,73	2296,70	84605,06	2450	9116,85	7019,97	25551	132856,31
Хор.-ок. NPK 1	2065,41	2617,01	97853,77	11817	11435,32	8805,20	29552	164145,70

Продолжение табл. Ж5								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Хор.-ок. NPK 2	2189,76	2777,17	96089,52	16500	11755,65	9051,85	29019	167382,94
Выс.-ок. NPK 0	3180,65	3574,60	89259,12	4900	10091,44	7770,41	26956	145732,21
Выс.-ок. NPK 1	3429,34	3894,91	96527,84	14267	11811,91	9095,17	29151	168177,17
Выс.-ок. NPK 2	3553,68	4055,06	92271,92	18950	11883,07	9149,96	27866	167729,69
Ячмень 2017								
Ср.-ок. NPK 1	521,97	323,91	227,17	4808	588,11	452,84	68,60	6990,60
Ср.-ок. NPK 2	907,78	535,79	358,96	7213	901,55	694,20	108,41	10719,69
Хор.-ок. NPK 0	1285,93	828,17	618,33	1050	378,24	291,25	186,74	4638,66
Хор.-ок. NPK 1	1439,37	1004,70	688,53	5858	899,06	692,28	207,93	10789,87
Хор.-ок. NPK 2	1664,70	1152,39	770,11	8263	1185,02	912,47	232,57	14180,26
Выс.-ок. NPK 0	2126,06	1478,06	1055,51	2100	675,96	520,49	318,77	8274,85
Выс.-ок. NPK 1	2321,11	1671,23	1138,72	6908	1203,91	927,01	343,89	14513,86
Выс.-ок. NPK 2	2415,67	1766,62	1179,40	9313	1467,47	1129,95	356,18	17628,29
Итого по севообороту								
Ср.-ок. NPK 1	4334,35	4980,69	29331,19	43978	8262,42	6362,07	8858,18	106106,90
Ср.-ок. NPK 2	5484,92	6156,84	26901,32	65060	10360,31	7977,44	8124,03	130064,86
Хор.-ок. NPK 0	6018,3	6779,49	104644,8	3500	12094,26	9312,58	31603,36	173952,80
Хор.-ок. NPK 1	8588,33	9893,2	136835,7	47478	20279,52	15615,23	41324,11	280014,07
Хор.-ок. NPK 2	10832,69	12451,3	149012,4	68560	24085,64	18545,94	45001,24	328489,21
Выс.-ок. NPK 0	10061,18	9773,52	120953,9	7000	14778,86	11379,72	36527,89	210475,01
Выс.-ок. NPK 1	12296,31	12936,98	146762,1	50978	22297,34	17168,95	44322,08	306761,71
Выс.-ок. NPK 2	13773,01	14345,2	152334,7	72060	25251,29	19443,49	46005,12	343212,79

Таблица Ж6 - Структура затрат на применение удобрений и уборку  
дополнительного урожая в овощекормовом севообороте

Варианты опыта	Денежные затраты по статьям и культурам, %							Всего
	Амортизация техники	ГСМ и электроэнергия	Заработная плата	Удобрения	Прочие прямые (10%)	Накленные (7%)	Отчисления в фонд	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Картофель 2012								
Ср.-ок. NPK 1	8,0	7,2	24,2	39,4	7,9	6,1	7,3	100,0
Ср.-ок. NPK 2	7,6	7,0	22,9	41,6	7,9	6,1	6,9	100,0
Хор.-ок. NPK 0	13,8	11,5	47,5	0,0	7,3	5,6	14,3	100,0
Хор.-ок. NPK 1	8,0	7,3	24,3	39,2	7,9	6,1	7,3	100,0
Хор.-ок. NPK 2	8,7	7,7	27,0	34,7	7,8	6,0	8,1	100,0
Выс.-ок. NPK 0	13,8	11,5	47,5	0,0	7,3	5,6	14,3	100,0
Выс.-ок. NPK 1	9,2	8,1	29,0	31,2	7,8	6,0	8,8	100,0
Выс.-ок. NPK 2	9,3	8,2	29,7	30,1	7,7	6,0	9,0	100,0
Озимая пшеница 2013								
Ср.-ок. NPK 1	7,9	4,6	3,0	68,6	8,4	6,5	0,9	100,0
Ср.-ок. NPK 2	6,1	4,0	2,4	71,9	8,4	6,5	0,7	100,0
Хор.-ок. NPK 0	47,2	17,5	16,1	0,0	8,1	6,2	4,9	100,0
Хор.-ок. NPK 1	13,1	6,3	4,7	59,6	8,4	6,4	1,4	100,0
Хор.-ок. NPK 2	11,0	5,6	4,0	63,3	8,4	6,5	1,2	100,0
Выс.-ок. NPK 0	47,2	17,5	16,1	0,0	8,1	6,2	4,9	100,0
Выс.-ок. NPK 1	17,0	7,6	6,0	52,8	8,3	6,4	1,8	100,0
Выс.-ок. NPK 2	13,5	6,5	4,9	58,8	8,4	6,4	1,5	100,0
Люпин узколистный 2014								
Ср.-ок. NPK 1	4,2	7,4	3,2	69,3	8,4	6,5	1,0	100,0
Ср.-ок. NPK 2	3,6	5,9	2,5	72,3	8,4	6,5	0,8	100,0
Хор.-ок. NPK 0	19,9	41,5	18,7	0,0	8,0	6,2	5,6	100,0
Хор.-ок. NPK 1	9,1	17,9	8,0	48,0	8,3	6,4	2,4	100,0
Хор.-ок. NPK 2	8,4	16,3	7,3	51,1	8,3	6,4	2,2	100,0
Выс.-ок. NPK 0	19,9	41,5	18,7	0,0	8,0	6,2	5,6	100,0
Выс.-ок. NPK 1	9,2	18,1	8,0	47,6	8,3	6,4	2,4	100,0
Выс.-ок. NPK 2	7,3	14,0	6,2	55,9	8,3	6,4	1,9	100,0
Столовая свёкла 2015								
Ср.-ок. NPK 1	1,3	2,2	44,4	25,6	7,4	5,7	13,4	100,0
Ср.-ок. NPK 2	1,3	2,2	43,8	26,4	7,4	5,7	13,2	100,0
Хор.-ок. NPK 0	0,9	2,0	65,3	0,0	6,8	5,3	19,7	100,0
Хор.-ок. NPK 1	1,1	2,1	54,3	13,6	7,1	5,5	16,4	100,0
Хор.-ок. NPK 2	1,1	2,1	53,2	14,9	7,1	5,5	16,1	100,0
Выс.-ок. NPK 0	0,9	2,0	65,3	0,0	6,8	5,3	19,7	100,0
Выс.-ок. NPK 1	1,1	2,1	56,2	11,2	7,1	5,4	17,0	100,0
Выс.-ок. NPK 2	1,1	2,1	54,2	13,6	7,1	5,5	16,4	100,0
Капуста белокачанная 2016								
Ср.-ок. NPK 1	2,5	4,7	35,7	32,9	7,6	5,8	10,8	100,0
Ср.-ок. NPK 2	4,0	7,3	4,4	68,2	8,4	6,5	1,3	100,0
Хор.-ок. NPK 0	1,4	1,7	63,7	1,8	6,9	5,3	19,2	100,0
Хор.-ок. NPK 1	1,3	1,6	59,6	7,2	7,0	5,4	18,0	100,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Хор.-ок. NPK 2	1,3	1,7	57,4	9,9	7,0	5,4	17,3	100,0
Выс.-ок. NPK 0	2,2	2,5	61,2	3,4	6,9	5,3	18,5	100,0
Выс.-ок. NPK 1	2,0	2,3	57,4	8,5	7,0	5,4	17,3	100,0
Выс.-ок. NPK 2	2,1	2,4	55,0	11,3	7,1	5,5	16,6	100,0
Ячмень 2017								
Ср.-ок. NPK 1	7,5	4,6	3,2	68,8	8,4	6,5	1,0	100,0
Ср.-ок. NPK 2	8,5	5,0	3,3	67,3	8,4	6,5	1,0	100,0
Хор.-ок. NPK 0	27,7	17,9	13,3	22,6	8,2	6,3	4,0	100,0
Хор.-ок. NPK 1	13,3	9,3	6,4	54,3	8,3	6,4	1,9	100,0
Хор.-ок. NPK 2	11,7	8,1	5,4	58,3	8,4	6,4	1,6	100,0
Выс.-ок. NPK 0	25,7	17,9	12,8	25,4	8,2	6,3	3,9	100,0
Выс.-ок. NPK 1	16,0	11,5	7,8	47,6	8,3	6,4	2,4	100,0
Выс.-ок. NPK 2	13,7	10,0	6,7	52,8	8,3	6,4	2,0	100,0
Итого по севообороту								
Ср.-ок. NPK 1	4,1	4,7	27,6	41,4	7,8	6,0	8,3	100,0
Ср.-ок. NPK 2	4,2	4,7	20,7	50,0	8,0	6,1	6,2	100,0
Хор.-ок. NPK 0	3,5	3,9	60,2	2,0	7,0	5,4	18,2	100,0
Хор.-ок. NPK 1	3,1	3,5	48,9	17,0	7,2	5,6	14,8	100,0
Хор.-ок. NPK 2	3,3	3,8	45,4	20,9	7,3	5,6	13,7	100,0
Выс.-ок. NPK 0	4,8	4,6	57,5	3,3	7,0	5,4	17,4	100,0
Выс.-ок. NPK 1	4,0	4,2	47,8	16,6	7,3	5,6	14,4	100,0
Выс.-ок. NPK 2	4,0	4,2	44,4	21,0	7,4	5,7	13,4	100,0