

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МИЧУРИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



Трунов Александр Юрьевич

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ НА РОСТ
И ПЛОДОНОШЕНИЕ ЯБЛОНИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ
УДОБРЕНИЯ ИНТЕНСИВНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНО-
ЧЕРНОЗЁМНОГО РЕГИОНА**

Специальность 4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и
лекарственные культуры

Диссертация
на соискание учёной степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор сельскохозяйственных наук,
доцент Кузин Андрей Иванович

Мичуринск, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ЯБЛОНИ В СРЕДНЕЙ ПОЛОСЕ РОССИИ (ЛИТОБЗОР)	10
1.1 Значение азота и калия в минеральном питании и формировании биологического потенциала яблони	10
1.2 Влияние азота и калия на формирование почвенного плодородия яблоневого сада	17
1.3 Движение азота и калия в биологической системе «растение – почва – атмосфера»	23
1.4 Моделирование биологических процессов в садоводстве	33
ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	40
2.1 Условия проведения исследований	40
2.2 Объекты исследований	42
2.3 Методика проведения исследований	43
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	53
3.1 Моделирование основных биологических параметров яблони в интенсивном саду	53
3.1.1 Ключевые морфобиологические показатели яблони и их взаимосвязь	53
3.1.2 Моделирование динамики урожайности различных сортов яблони в интенсивном саду	66
3.2 Экспериментальное исследование влияния азотных удобрений в системе «растение-почва-атмосфера»	77
3.2.1 Динамика содержания минеральных элементов в почве интенсивного яблоневого сада	77

3.2.2 Влияние азотных удобрений на рост и формирование вегетативной биомассы яблони	93
3.2.3 Влияние азотных удобрений на урожайность и компоненты продуктивности яблони	107
3.2.4 Динамика азота и калия в растениях яблони под влиянием азотных удобрений	121
3.3 Расчет биологически обоснованных доз удобрений и оценка эффективности их применения в интенсивном саду	136
3.3.1 Сравнительная оценка методов расчета доз удобрений	136
3.3.2 Экономическая эффективность внесения азотных удобрений в интенсивном саду	146
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	151
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	156
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	159
Приложение 1. Акты о внедрении научных разработок	192
Приложение 2. Погодные условия Липецкой области	194
Приложение 3. Показатели биомассы по 6 сортам яблони за 9 лет наблюдений	195
Приложение 4. Содержание азота (мг/кг) в почве приствольной полосы интенсивного яблоневого сада с различными дозами азотных удобрений с 2020 по 2024 гг.	196
Приложение 5. Экспериментальные данные	197
Приложение 6. Средства расчета удобрений	203

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы научных исследований. Россия территориально располагается в природно-климатических условиях, которые отличаются критическими значениями по многим показателям: температуре, влажности и т.д., что ограничивает возможности использования территории для выращивания плодовых культур, – лишь некоторые южные регионы можно сравнить по благоприятным условиям со странами Европы (Кашин, 1995; Загиров и др., 2010; Муханин, 2011; Кузин, Трунов, 2015). Несмотря на это, для выращивания наиболее зимостойких и устойчивых культур в нашей стране имеются достаточно благоприятные условия, особенно это касается яблони и некоторых ягодных культур (Загиров и др., 2010; Савельева, Савельев, 2013; Соловьёв и др., 2022).

Однако, успешное ведение садоводства в средней полосе России предполагает достаточно высокую урожайность и качество плодов, что невозможно в насаждениях старого, экстенсивного типа, которых ещё много сохранилось в нашей стране (Завражнов и др., 2013; Концепция системы..., 2019). Поэтому здесь нужны интенсивные насаждения, способные переходить к плодоношению с года посадки и максимально реализовать генетический потенциал, – закладка которых в России в настоящее время ведётся высокими темпами (Трунов, Трунова, 2013; Бунцевич, Щеглов, 2014; Концепция системы..., 2019; Грушева, 2022; Расулов и др., 2024).

Для того, чтобы достичь максимальной реализации потенциала продуктивности яблони в условиях воздействия различных экологических факторов, необходимо определить характер взаимосвязей между этими факторами и растениями. Одним из важнейших экологических факторов, интенсивно влияющих на рост и плодоношение деревьев яблони, качества плодов, является обеспеченность растений почвенными элементами минерального питания (Трунов, 2007; 2016; Фоменко, 2017; 2021; Дорошенко, 2022; Кузин, 2018; 2023).

Потребность в удобрении тем выше, чем большую биомассу и урожай формируют растения в саду, особенно это касается современных высокоурожайных сортов на карликовых подвоях в интенсивных садах с уплотнённым размещением

деревьев (Будаговский, 1976; Лебедев, 1985; Кондаков, 2001, Савельева, Савельев, 2013; Юшков и др., 2019).

Для того чтобы прогнозировать ход естественных биологических процессов, происходящих в растении, планировать величину и качество урожаев в течение всего цикла эксплуатации насаждений, применяют математические методы. Моделируя вынос и возврат минеральных элементов в системе «растение-почва-атмосфера», можно делать прогнозы продуктивности и накопления биомассы в плодовых насаждениях, с учётом биологических особенностей сортов и подвоев (Кехаев, 1995; Бобрович, 1998; Петрушин, Бобрович, 1999; Щеглов, 2004).

Степень изученности проблемы. Вопросами минерального питания и удобрения яблони в России занимались ведущие учёные: А.К. Приймак (1969), Д.А. Сабинин (1971), В.М. Лебедев (1985), К.Н. Кондратьев (1991), А.А. Кладь (2001), В.П. Попова (2004), Т.Н. Дорошенко (2005), Н.Н. Сергеева (2005), А.К. Кондаков (2007), Ю.В. Трунов (2003, 2016), А.И. Кузин (2018, 2023) и многие другие.

К сожалению, в работах авторов недостаточно сведений о минеральном питании яблони в интенсивных садах в условиях Центрально-Черноземного региона, а также о выносе и потреблении минеральных элементов деревьями яблони на карликовых подвоях. Эта проблема приобретает еще большую актуальность в условиях изменяющегося климата, влияние которого распространяется и на минеральный баланс растений.

Цель исследований – разработка модели минерального питания яблони для повышения продуктивности интенсивных садов на основе изучения биологических особенностей роста и плодоношения деревьев яблони и выноса ими минеральных элементов в зависимости от уровня азотного питания.

Задачи исследований:

1. Изучить биометрию штамба и листьев, накопление вегетативной биомассы деревьями яблони в течение жизненного цикла в интенсивном саду.
2. Разработать модель продуктивности и определить биологический потенциал урожайности сортов яблони в интенсивном саду.

3. Изучить локализацию минеральных элементов в почве и динамику их концентрации при внесении удобрений.

4. Дать оценку ростовым показателям и компонентам продуктивности яблони при различных уровнях азотного питания.

5. Определить содержание и вынос азота и калия деревьями яблони с биомассой и урожаем и разработать модели азотного и калийного питания.

6. Сделать расчёт экономической эффективности производства плодов яблони в интенсивном саду при различных уровнях минерального питания.

Научная новизна исследований. Впервые в интенсивных садах в условиях ЦЧР изучены биологические особенности азотного питания деревьев яблони при различных уровнях почвенного удобрения. Получены математические уравнения, моделирующие нелинейные связи между агробиологическими параметрами деревьев в интенсивном яблонево-м саду.

Впервые разработаны биологические модели минерального питания и урожайности сортов яблони на карликовом подвое Парадизка Будаговского на основе логистической функции. Изучена динамика содержания и распределения азота и калия в деревьях яблони и в агроэкосистеме интенсивного сада, получены новые данные по локализации и выносу минеральных элементов сортами яблони на карликовых подвоях.

Получены новые формулы и коэффициенты, позволяющие оперативно уточнять дозировки азотного и калийного удобрения яблони в условиях интенсивного сада. На основе метода элементного баланса разработано комплексное уравнение минерального питания яблони на карликовых подвоях. Для условий ЦЧР России в интенсивных яблоневых садах подобное уравнение отсутствовало.

Теоретическая и практическая значимость. В ходе исследования получены знания о динамике продуктивности и накопления биомассы деревьями яблони в процессе онтогенеза. Рассчитаны обобщающие математические модели, предложена биологическая интерпретация их параметров. Определены регрессионные кривые зависимости и взаимосвязи между содержанием минеральных элементов в

почве интенсивного сада и органах яблони и её биологическими параметрами: урожайностью, площадью листьев, диаметром штамба, продукцией вегетативной биомассы и выносом азота и калия из почвы под влиянием азотных удобрений. Изучена и математически описана динамика азота в почве интенсивного яблоневого сада в условиях внесения минеральных удобрений по сравнению с контролем. Предложено и научно обосновано понятие «индуцированных потерь» элементов минерального питания при внесении в почву минеральных удобрений, рассчитаны соответствующие поправочные коэффициенты для корректировки доз удобрений в интенсивных садах.

Доработана и усовершенствована комплексная модель элементного баланса в системе «растение-почва-атмосфера» для сортов яблони на основании содержания элементов в корнеобитаемом слое почвы и прогнозируемого биологического выноса элементов с урожаем и вегетативной биомассой. Модель учитывает развитость деревьев, биологическую продуктивность сортов, соотношение урожая и вегетативного прироста, актуальный и требуемый уровни азотного питания. Разработан «калькулятор выноса» минеральных элементов на основе обобщенного уравнения элементного баланса, позволяющий проводить более тонкие расчеты минеральных удобрений по сравнению с ранее применявшимися методами. Методика расчетов рекомендована к использованию в интенсивных яблоневых садах в условиях ЦЧР.

Результаты исследований внедрены в системы минерального питания яблони ЗАО «Агрофирма имени 15 лет Октября», ООО «Агроном-Сад» Лебедянского района Липецкой области (Приложение 1).

Результаты работы могут быть использованы в технологиях возделывания интенсивных промышленных насаждений яблони в Центрально-Черноземном регионе при оптимизации минерального режима садовых агроэкосистем с целью реализации биологического потенциала сортов по продуктивности и качеству плодов.

Методология и методы исследования базируются на принципах системного подхода и общепризнанных апробированных методиках, применяемых в научных исследованиях с плодовыми культурами. Научная деятельность связана с оп-

ределением выноса азота и калия деревьями яблони на карликовых подвоях для разработки биологически обоснованной системы минерального питания яблони в интенсивных садах. Основные результаты получены с использованием полевых и лабораторных наблюдений и экспериментов, а также статистических методов планирования исследований, обработки эмпирических данных, моделирования нелинейных взаимосвязей и экономического анализа.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Биологические модели продуктивности и накопления биомассы деревьями яблони в ходе онтогенеза строятся на основе логистической функции, основными параметрами которой выступают: биологический потенциал сорта, биологическая откликаемость на действующий фактор и уровень вкладываемых биологических ресурсов в динамику системы.

2. Между показателями биологической продукции яблони и уровнем вносимых азотных удобрений наблюдается нелинейная зависимость, которая определяет минимальную эффективную дозу удобрений и описывается логистической кривой регрессии.

3. Для покрытия потребности деревьев яблони интенсивного сада в минеральных элементах питания и сохранении их почвенного баланса необходимо учитывать обратные связи в системе «почва-растение-атмосфера» при построении расчетов доз удобрений, включая вынос и почвенные потери элементов.

Апробация работы. Результаты исследований опубликованы в научных статьях, доложены на международных и всероссийских научных и научно-практических конференциях: 76-я Международная научно-практическая конференция студентов и аспирантов «Обеспечение технологического и научного суверенитета: роль университетского сообщества» (г. Мичуринск, 19-21 марта 2024 г.); IV Международная научно-практическая конференция «Аграрная наука и инновационные сельскохозяйственные технологии» (г. Мичуринск, 24-25 апреля 2024 г.); Всероссийская научно-практическая конференция «Новые знания и инновационные технологии – в развитие современного садоводства» в рамках XVIII Всероссийской выставки «День садовода-2024» (г. Мичуринск, 12-13 сентября 2024 г.); Международная на-

учная конференция «Научное обеспечение устойчивого развития Черноморского региона» (г. Сочи, 2-4 октября 2024 г.); Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция, посвящённая 90-летию со дня рождения профессора В.А. Потапова «Актуальные вопросы современного садоводства и питомниководства: VI Потаповские чтения» (г. Мичуринск, 14 ноября 2024 г.); Международная научно-практическая конференция «Современные способы технологии выращивания плодовоовощных культур в Узбекистане, вопросы повышения качества продукции и урожайности, проблемы и решения» (г. Ташкент, 3 июня 2025 г.).

Публикации результатов исследования. Основные результаты, выводы и рекомендации диссертационного исследования отражены в 24 работах, общим объемом 17,1 п.л. (автору принадлежит 9,9 п.л.), в том числе в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК России, опубликовано 7 работ.

Личный вклад автора. Диссертация содержит фактический и аналитический материал, полученный автором в течение 2020-2024 гг. Автор принимал непосредственное участие в разработке программы исследований, планировании и проведении экспериментов по изучению продуктивности, биологических параметров и выноса азота и калия деревьями яблони в интенсивных садах в условиях ЦЧР, а также разработке биологических моделей продукционного процесса яблони в процессе онтогенеза и при внесении в почву азотных удобрений. Анализ полученных результатов, сделанные на его основе выводы и рекомендации выполнены лично автором.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 203 страницах текста, содержит 39 таблиц, 50 рисунков, состоит из введения, 3 глав, заключения, рекомендаций по использованию результатов в производстве, списка использованной литературы, включающего 299 источников (в том числе 49 – на иностранных языках) и 6 приложений.

ГЛАВА 1. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ЯБЛОНИ В СРЕДНЕЙ ПОЛОСЕ РОССИИ (ЛИТОБЗОР)

1.1 Значение азота и калия в минеральном питании и формировании биологического потенциала яблони

Азот требуется растению на всех этапах его жизнедеятельности, начиная с прорастания зародыша и заканчивая последними циклами репродукции и старением растительного организма. При этом существует тесная связь между интенсивностью роста органов растения и потребностью в азотном питании (Кондратенко, 1998; Трунов и др., 2024; Trunov et al., 2024).

Среди элементов минерального питания растений азот занимает исключительно важное положение. Помимо аминокислот и нуклеотидов, он входит в состав гликозидов, фосфатидов, алкалоидов и, что особенно важно, хлорофиллов. Являясь обязательным компонентом белковых и нуклеотидных мономеров, а также пигментов и ферментов фотосинтеза, он принимает участие в абсолютном большинстве анаболических процессов растительной клетки, в том числе, непосредственно в биосинтезе белков и нуклеиновых кислот и опосредованно – в фотосинтезе растений (Спиваковский, 1984; Панников, Минеев, 1977; Полевой, 1989; Рейвн, Эверт, Айкхорн, 1990).

Доля азота в сухом веществе растительных тканей зависит от условий развития растения, его вида и возраста и может варьировать в пределах 1-5%. Большая часть его находится в форме белков, составляя 16-18% от массы их сухого вещества, а также в составе свободных аминокислот, азотистых оснований и других органических соединений. Небольшая часть остается в виде еще не ассимилированных клетками азотсодержащих ионов (Варасова, Шустова, 1969; Панников,

Минеев, 1977). В биологической литературе показано значение азотного статуса в поддержании не только общего уровня белков, но и их оптимальной каталитической активности. В частности, способность к синтезу белков теплового шока у растений регулируется уровнем их азотного питания (Coleman et al., 1991).

Поглощение и метаболизм азота связаны с другими условиями жизнедеятельности растений. Так, повышение доли CO_2 в атмосфере вызывает увеличение концентрации азота корнях и ее снижение в листьях из-за уменьшения транспорта азота. В таких условиях потребность растения в азотном питании возрастает (Пухальская, 1996; Melillo et al., 1982).

Органические формы азота усваиваются растениями значительно хуже неорганических (исключения составляют карбамид, глутамин и аспарагин, благодаря сравнительно легкому отщеплению аминогруппы). Основными источниками минерального азота являются ионы NH_4^+ и NO_3^- , которые легко поглощаются растениями при условии поступления достаточного количества энергии и поддержания необходимого pH почвы. Реакция растительного организма на форму поступления азота регулируется содержанием углеводов и фитогормонов (Колесников, 1968; Измайлов, 1986; Лебедев, 1988).

Ассимиляция минерального азота обеспечивается функционированием ферментативных систем в плазматических мембранах и цитоплазме клеток корней и листьев растения (Lewis et al., 1977; Ивашкина, Егорова, 1993).

Ряд исследователей (Kotze, Shear, Faust, 1976; Измайлов с соавт., 1983; Соколов, 1991; Бобылев, 1998, 2000) рассматривают аммонийную форму азота как наиболее желательную, поскольку она не требует восстановления и быстрее используется растением. Главным метаболическим путем усвоения NH_4^+ -иона считается аминирование α -кетоглутаровой кислоты и дальнейшее восстановление до глутаминовой кислоты под действием ферментов глутаматсинтетазы и глутаматдегидрогеназы.

Такая форма азота может участвовать в синтезе органики (амидов, аминокислот) непосредственно в клетках корней и требует меньших затрат энергии. С другой стороны, свободный аммоний подавляет ростовые процессы растений, прояв-

ляя токсические свойства, и в ответ на его избыток растения могут снижать общий уровень поглощения азота, либо окислять аммоний до нитратов (Лебедев, 1985; Clarkson, 1986).

Другие исследователи (Рейвн, Эверт, Айкхорн, 1990; Амелин, Соколов, 1994; Грин, Стаут, Тейлор, 1996) считают, что основная часть азота поступает в растения в нитратной форме. Ассимиляция нитратов в растении объединяет процессы всасывания NO_3^- -ионов через клеточные мембраны; их восстановления нитратредуктазой до нитритов и нитритредуктазой до аммония; транспорта и накопления азота в тканях, а также утилизацию запасенных клетками нитратов. При этом наличие свободного аммония подавляет ферментативное восстановление нитратов, чем замедляет использование NO_3^- -ионов растением (Stulen, 1986; Clarkson, 1986). Снижать активность нитратредуктазы могут и другие факторы, например, дефицит калия и марганца (Matsumoto et al., 1980).

Поглощение NO_3^- -ионов растением находится в тесной связи с одновременным транспортом других анионов и катионов. Считается, что этот процесс идет как симпорт нитратов с положительно заряженными ионами (NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) и как антипорт – с отрицательно заряженными ионами (SO_4^{2-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , Cl^-). Это объясняется ролью клеточной оболочки, углеводный каркас которой несет отрицательные заряды – их экранирование катионами способствует более легкому прохождению через нее нитратов (Измайлов, 1986; Ивашкина, Егорова, 1993).

Для поддержания процессов адсорбции и восстановления нитратов необходимы запасы ферментов, поэтому угнетение биосинтеза белка в клетках корня на стадии транскрипции или трансляции подавляет и поглощение нитратной формы азота. Также оно зависит от энергетического обмена и снижается под действием ингибиторов клеточного дыхания (Ивашкина, Егорова, 1993). Эти процессы тесно связывают превращения азотистых соединений с обменом фосфорной кислоты, принимающей участие в окислительном фосфорилировании, синтезе нуклеопротеидов и нуклеиновых кислот (Удовенко, 1965; Рейвн, Эверт, Айкхорн, 1990).

Распределение ионов в системе цитозоль/клеточный сок имеет большое значение в регуляции клеточного транспорта и обмена нитратов, основная часть кото-

рых находится в вакуолях, тогда как меньшая часть приходится на цитозоль. Эта часть представляет собой активный запас, доступный включению в обменные процессы (метаболический пул). Запас же нитратов в клеточном соке вакуолей является резервным пулом и может использоваться только после перехода их в цитозоль (Clarkson, 1986). Соотношение этих пулов зависит от возраста, наследственности растения, состояния корня и условий питания, позволяя оценить интенсивность потребления азота в клетке. Размер пулов во многом определяется генотипически (Овчаренко, 1990).

На настоящий момент времени система механизмов, регулирующих транспорт NO_3^- -ионов в клетках растений, изучена не до конца. Известно, что поступление нитратов безразлично к их цитоплазматическому уровню и зависит от внешней концентрации. В клетке оно может регулироваться аммонием и/или его органическими производными, а также углеводами. Отток же нитратов из клеток напрямую зависит от их концентрации в цитоплазме (Clarkson, 1986; Ивашкина, Егорова, 1993).

Восстановительные процессы превращения нитратной формы азота в органическую идут преимущественно в растущих тканях корня. По ксилеме из корня большая часть азота поднимается в органической форме (в основном, глутаминовой и других аминокислот), меньшая часть – в виде неорганических ионов (Колесников, 1968; Stulen, 1986; Рейвн, Эверт, Айкхорн, 1990). Некоторые исследователи отмечают, что при нитратной форме питания значительная доля азота идет к надземным органам и может восстанавливаться в листьях (Lewis et al., 1977; Ивашкина, Егорова, 1993). Существует подвижный пул, представляющий собой нитрат, доступный для транспорта из клеток корня в надземные органы растения (Clarkson, 1986). Максимум нитратов как наиболее мобильной формы азота содержится в соудистых пучках корня, стебля и листьев (Койка, Скорилов, 2008).

Согласно литературным данным, азот усиливает развитие и меняет морфоанатомическое строение хлоренхимы листа (Кошер, 1976; Tromp, Ovaas, 1971, 1976; Майдебур, Дудинский, 1977), повышает содержание хлорофилла и интенсивность фотосинтеза (Вегера, 1978; Узганбаев, 1985), увеличивает количество

устийц и площадь листовой пластинки, активизирует процессы газообмена и оттока ассимилятов (Natr, 1975; Будаговский, 1976; Куперман, 1984; Hirose, Kitajima, 1986; Трунов, 2016).

Использование азотных удобрений в садоводстве и питомниководстве влияет на рост побегов и штамбов (Будаговский, 1976; Кравченко, 1985; Узганбаев, 1985; Чечиль, 1995), в том числе, по отношению к росту корней (Hirose, Katajima, 1986). В корнях повышается уровень общего азота и активизируется синтез аргинина и аспарагина, идущих по проводящей системе наверх (Tromp, 1971, 1976, 1983; Jones, 1976). Значительное влияние азот оказывает на рост и ветвление корневой системы (Дементьева, 1970; Кошер, 1976; Канду, Бабук, 1973; Ходжаева, 1980; Вегера, 1982; Танасьев, Барбарош, 1982; Долгов, 1985, 1986; Лебедев, 1985; Крысанов, 1995). Усиление азотного питания положительно влияет на генеративные функции: способствует закладке плодовых почек, цветению, образованию плодов, их росту и долговечности, общему повышению урожая (Елисеева, 1975; Будаговский, 1976; Кравченко, 1985; Сайдалиев, Узганбаев, 1987; Hinz, 1988; Schembecker, Ludders, 1989; Василенко, 1994; Кулеша, Шафранек, 1994; Bizik, 1994; Ульянич, 1995; Швагждис, 1997).

Дефицит почвенного азота приводит к торможению биосинтеза органических азотистых соединений: белков, нуклеотидов, хлорофилла, – как следствие, вызывая хлороз, ослабление роста и задержку развития стеблей и листьев. При этом плодовые и ягодные культуры используют резервный азот, снижая его содержание в клетках, вследствие чего происходит отмирание старых вегетативных органов и редукция плодоношения (Кобель, 1957; Колесников, 1974; Фидлер, 1983).

Реже встречается азотное отравление, приводящее к избыточному росту побегов с медленным вызревaniem древесины (Huett, 1996), развитию крупных, но рыхлых темно-зеленых листьев (Спиваковский, 1984; Крамер, Козловский, 1983), отставанию в росте корней от надземных органов (Hirose, Katojima, 1986). Повышенное содержание азота в почве снижает потребление микроэлементов, таких как цинк, медь и железо, по принципу межвиовного антагонизма. Это может приводить к появлению хлороза, розеточности у деревьев (Кондратьев, 1991).

Избыток азота отрицательно сказывается на урожае плодовых культур: может наблюдаться недоразвитие или деформация генеративных органов, задержка созревания, уязвимость по отношению к инфекционным и физиологическим болезням при хранении плодов (Perring, 1968; Stoll, 1974; Шагина, 1975; Корнеева, 1976; Tracinski, 1976; Lewis et al, 1977; Гудковский, 1978; Шумахер, 1979; Miller, 1983; Крамер, Козловский, 1983; Nosal et al, 1986; Кудрявец, 1987; Макаренко, 1990; Краюшкина, Дадыко, 1994; Воробьев, 1996). При переизбытке азотного питания наблюдается снижение продуктивности и морозостойкости при затяжном росте растений (Кобель, 1957; Фидлер, 1983; Кудрявец, 1987; Тартачник, 1997).

Калий физиологически также очень значим, на что указывает его активный переход в вегетативные части растения из почвы (вынос), он составляет приблизительно от четверти до половины массы растительной золы (Колесников, 1974; Кудрявец, 1987; Якименко, Носов, 2016). В то же время изменение доли калия в листьях при внесении соответствующих удобрений более заметно по сравнению с азотом и фосфором, поскольку калий не запасается в органическом веществе (Балобин, Матвеева, 1970).

Значение циркуляции ионов калия в осевых органах растений объясняется участием в процессах транспорта, благодаря поглощению и удержанию воды его растворами (Рубин, 1976). Калий поддерживает осмотическое давление клеточного сока, повышает степень обводнения и тургор клетки, устойчивость и дисперсность биологических коллоидов, увеличивает вязкость и эластичность цитоплазмы (Язвицкий, 1972; Фидлер, 1983; Кушниренко, 1991); он способствует оттоку ассимилятов в подземные органы из листьев (Демолон, 1961).

Калий повышает эффективность фотосинтеза, особенно нуждаются в нем светолюбивые растения. Высокая концентрация калия характерна для палисадной хлоренхимы листа, причем его поглощение растет с ростом содержания углекислого газа в воздухе, что указывает на его важную роль в анаболизме углеводов (Дорохов, 1964; Удовенко, 1965; Лебедев, 1988; Якименко, Носов, 2016). Калий активизирует синтез аминокислот, витаминов (B_1 , B_2 и др.), антоцианов, органических кислот (Петербургский, 1981).

Калий стимулирует меристему точек роста и усиливает прирост биомассы. Максимальное его содержание характерно для молодых органов, его много в образовательной ткани почек, растущих частях коры (камбий, феллоген), краевой меристеме листьев (Урсуленко, 1956). Этот элемент очень важен для растяжения клеток, и к его недостатку чувствительны все ростовые процессы (Фауст, 1989).

В катаболических процессах калий участвует в функционировании более чем 20 АТФаз, поддерживает активность ферментов белкового и углеводного обмена (протеаз, амилазы, сахаразы) (Курсанов, 1965; Рубин, 1976; Панников, Минеев, 1977). В метаболизме азота калий выступает в качестве кофермента при синтезе нитратредуктазы, таким образом, принимая участие в усвоении нитратов (Курсанов, Выскребенцева, 1967; Рейвн, Эверт, Айкхорн, 1990).

Калийное питание растений способствует развитию корневой системы (Колесников, 1974; Кудрявец, 1987), росту в толщину штамбов яблони (Майдебура и др., 1989), повышению площади листьев и содержания в них хлорофилла (Полевой, 1989), ускорению закладки плодовых почек яблони и других культур (Бондаренко, 1970; Фидлер, 1983; Szücs, 1986; Кудрявец, 1987), улучшению вкуса, аромата, лежкости и плотности плодов, их цвета, формы и размера, устойчивости к болезням, сохранению влаги (Lalatta, 1966; Lopez, 1972; Колесников, 1974; Фидлер, 1983; Кудрявец, 1987; Чекан, 1988; Гудковский, 2003).

Благоприятный калийный режим почвы является одним из условий эффективного функционирования агроценозов (Бондаренко, 1970; Якименко, Носов, 2016), с ним связаны процессы поглощения растениями других элементов питания: магния, кальция, натрия, цезия, фосфора и хлора (Кобель, 1957; Фидлер, 1983; Шумахер, 1979; Кондаков, 1999). Калий компенсирует одностороннее влияние азотных удобрений (Lalatta, 1966; Lopez, 1972), влияет на обмен кислоторастворимой фракции органического фосфора (Носоненко, 1976).

Обеспеченность достаточным количеством калия позволяет растениям быстрее поглощать воду и лучше ее удерживать, что повышает засухоустойчивость (Рубин, 1964). Оказывая влияние на синтез и распределение углеводов в коре яблони, калий усиливает ее холодостойкость и зимостойкость (Власишин, 1976), отмечается также

его положительное влияние на устойчивость к вредителям и инфекционным болезням (Кондаков, 2007; Корнеева, 1976).

Дефицит калия замедляет отток ассимилятов из листьев и повышает расход пластических веществ на дыхание (Спиваковский, 1984; Будаговский, 1976), при калийном голодании резко ослабляются анаболические процессы, уменьшается синтез углеводов, хотя содержание хлорофилла остается тем же (Удовенко, 1965), в растительном организме происходит накопление минеральных форм азота (Рубин с соавт., 1976).

Признаками дефицита калия являются недостаточное утолщение побегов, ветвей и штамба, снижение урожайности и размера плодов (Спиваковский, 1962; Будаговский, 1976), неустойчивость к фитопатогенам (Панников, Минеев, 1977), ослабление корнелистовой функциональной связи (Лебедев, 1985; Муромцев, Страхова, 1985). При острой нехватке калия наблюдается завядание растения, краевой ожог и отмирание листовых пластинок, верхушек побегов и даже целых ветвей (Bramlage et al., 1980; Фидлер, 1983; Спиваковский, 1984).

Не менее опасен избыток калия, нарушающий поступление в растение ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , что приводит к подверженности плодов физиологическим заболеваниям (побурению мякоти, горькой ямчатости и др.) при их хранении (Гудковский, 1978; Шумахер, 1979; Фидлер, 1983; Воробьев, 1996).

1.2 Влияние азота и калия на формирование почвенного плодородия яблоневого сада

Для создания современных высокопродуктивных агроэкосистем и эффективного управления их жизнедеятельностью с получением стабильной ежегодной продукции необходимо поддержание качественного состояния почвы – как главного средства производства (Болотов, 1988; Кашин, 1995).

Почва рассматривается как комплексная система, включающая наряду с минеральными частицами (косным веществом) набор живых организмов – эдафобионтов (живое вещество) и мертвые органические остатки и продукты жизнедеятельности (биогенное вещество). Компоненты находятся в динамическом взаимодействии, и нарушение любого отрицательно сказывается на всей экосистеме, поэтому почва нуждается в охране (Небел, 1993; Шилов, 1997).

Почва, как и любая биологическая система, развивается с течением времени, при этом, в отличие от климатических изменений, ее динамика более успешно поддается количественному анализу и прогнозируется, демонстрируя более ясные причинные связи (Кондратьев, 1991; Кашин, 1995). В.В. Докучаев (1883) сформулировал основные законы развития почвы, которая «вечно живёт и изменяется, то, прогрессируя, то регрессируя» (цит. по: Трунов, 2016).

Регресс почвы – как снижение ее плодородия, ухудшение структуры и агрофизических свойств, обеднение почвенной биоты – является одной из актуальнейших проблем современных агроландшафтов, поскольку ведение сельского хозяйства в условиях монокультуры приводит к потере органического вещества и истощению запасов биофильных элементов. Отмечается растущий масштаб почвенной эрозии и загрязнения окружающей среды агрохимикатами, связанный с сельскохозяйственной деятельностью человека (Черняева, 1990; Жученко, 1994; Ворожбет и др., 2001).

Изменение почвенно-гидрологических условий в течение жизни многолетних насаждений плодовых культур может происходить в разном направлении. Создание саморегулирующихся долгоживущих агроценозов на их основе возможно лишь в ущерб продуктивности и / или качеству продукции. Альтернативным путем является активное внешнее управление продуктивностью агроэкосистем (Кашин, 1995; Подгорная и др., 2004).

По мнению академика А.А. Жученко, для агроэкосистем характерна высокая подверженность деструктивным почвенным процессам (падение биоактивности, эрозия, дегумификация, дефляция) как следствие истощения и нарушения круговорота веществ. В связи с этим для каждой из возделываемых культур он

предлагает определять «агроэкологический оптимум» содержания минеральных элементов питания, основываясь на знании видовых и сортовых адаптивных реакций, с одной стороны, и оценке количества и качества урожая, с другой стороны (Жученко, 1994)

Как отмечается в литературе, устойчивость садоводства как аграрной отрасли зависит в первую очередь от устойчивости плодовых растений, возделываемых в конкретных условиях (Кашин, 1995; Савельев, Савельева, 2013). Решение проблемы продуктивности и устойчивости земледелия видится в создании для каждой природно-климатической зоны моделей плодородия, предусматривающих баланс минеральных элементов и гумуса в почвах, на основе знания её производственных возможностей (климата, типа почв, аграрных ресурсов, сортов) и анализа целостной системы «растение-почва-атмосфера» (Каштанов, 1983; Теренько, 1992).

Плодородие почвы рассматривается как совокупность (комплекс) почвенных свойств и процессов, обеспечивающих экологические условия нормальной жизнедеятельности для растений и удовлетворение их потребностей в элементах минерального питания, воде и воздухе. Различают потенциальное плодородие, определяемое общими запасами питательных веществ и микроэлементов, и эффективное плодородие, связанное с подвижностью, доступностью для растений их конкретных растворимых форм. Компоненты плодородия находятся в динамическом равновесии, условия поддержания которого различаются для природно-климатических зон (Адрианов, 1990; Кондратьев, 1991; Плодородие..., 2014).

Одним из важнейших факторов плодородия почвы являются запасы гумуса – комплексного органического вещества, образующегося в результате преобразования детрита почвенными организмами (гумификации). В состав гумуса входят как неспецифические, так и специфические темноокрашенные органические вещества с ароматическими циклами, различающиеся по растворимости и формам связи с минеральной частью почвы, в частности, высокомолекулярные азотсодержащие оксикислоты. В почве они постепенно минерализуются, а пополняются за счет перерабатываемой органики. Гумус обладает рядом ценных свойств, влияющих на почвенное плодородие (Адрианов, 1990; Небел, 1993):

- содержит остаточную энергию для поддержания жизнедеятельности почвенных организмов;
- содержит минеральные и легко минерализуемые элементы питания растений;
- содержит гормоноподобные вещества, обладающие биологической активностью регуляторов роста и питания;
- может эффективно (в сотни раз лучше глины) удерживать воду с растворенными веществами;
- создает комковатую пористую структуру, улучшающую аэрацию почвы и ее обрабатываемость.

Вместе с поступлением элементов питания в почвенный раствор в ходе минерализации органического вещества в почве идут противоположные процессы: разного рода потери, вынос и отчуждение, но также и возврат части вынесенных минеральных элементов с листовым опадом обратно в почву. В незамкнутой агроэкосистеме сада дисбаланс или отсутствие компенсации таких потерь и процессов выноса может повлечь существенное обеднение почвы элементами минерального питания и резкое снижение её плодородия (Трунов, 2016).

Среди элементов минерального питания растений азот выделяется значительным разнообразием форм, мобильностью и способностью к быстрой трансформации. Большая часть почвенного азота относится к негидролизующим формам (до 82%) и входит в состав гумусовых кислот, из которых фульвокислоты повышают подвижность минеральных элементов в почве, а гуминовые кислоты связывают их, выполняя роль геохимического барьера. Легкогидролизующие азотистые соединения занимают 3-15% от общего содержания азота, трудногидролизующие – 12-28% и только 1-2% составляет минеральный азот (Турчин, 1972; Рудай, 1985; Башкин, 1987; Небел, 1993).

Весной в почве наблюдается максимум аммиачной формы легкогидролизующего азота; в летнее время доля её снижается, а количество азота в составе нитратов увеличивается, благодаря процессам нитрификации; осенью количество нитратного азота снижается в верхнем слое вследствие его миграции в ниже-

лежащие слои и поглощения растениями. Трансформация азота в почве зависит от водного и теплового режима, гранулометрического состава почвы, использования удобрений и особенностей растительности (Челомбитько, 1982; Башкин, 1987; Кондаков, 2001).

Внесение в почву органических удобрений способствует усилению ферментативной активности и аммонификации азота, а использование минеральных удобрений оказывает противоположное действие и приводит к повышению уровня нитратного азота, как за счет азота в самом удобрении, так и за счет дополнительной минерализации. В начале роста и развития растения используют больше азота из удобрений, доля почвенного азота увеличивается в более поздние фазы вегетации (Гомзеков и др., 1985; Долгов, 1986; Лебедева и др., 1996).

А.К. Кондаковым (1999, 2007, 2009) была разработана технология удобрения, учитывающая синергизм и антагонизм между минеральными ионами при их поглощении корневой системой. А именно: интенсивность поступления питательных веществ в ионной форме в корни растений ослабляется в присутствии одноимённо заряженных ионов и усиливается противоположно заряженными ионами. Так, положительно заряженный ион аммония облегчает поглощение фосфатов, поэтому при дефиците фосфора в почве следует сочетать фосфаты с аммонийным азотом. Локализованное внесение аммонийного азота способствует более полному усвоению фосфора растениями, благодаря его мобилизации (Ермолаев, Мойстеренко, 1987).

Максимальный ущерб от фосфорного голодания наблюдается при избытке нитратов, т.к. антагонизм одноимённо заряженных фосфатных и нитратных ионов останавливает поглощение и фосфора, и азота. В таком случае необходимо применять удобрения в аммонийной форме, внося их на глубину более 15 см, во избежание окисления аммония до нитрата (Кондаков, 2009). То же справедливо в отношении азотного дефицита, который может усугубляться при внесении лишних фосфатов. При особенно высоком содержании в почве доступного фосфора (> 200 мг/кг P_2O_5) затрудняется поступление и таких элементов как медь, калий, цинк, бор. В этом случае нитраты применяются поверхностно, и антаго-

низм между ними и фосфатами помогает уменьшить излишнее поглощение фосфора (Трунов, 2016).

Элементы минерального питания имеют разную степень подвижности в почве. На первом месте по мобильности стоят нитраты, менее подвижны аммонийный азот и калий, ещё менее подвижен фосфор (Крылова, 1988). Азот как наиболее мобильный из элементов питания легко теряется из почвы и удобрений (Кондратьев, 1991; Крысанов, 1995). Миграция азота может происходить в форме нитратов, нитритов, аммония или органических соединений (Фоменко и др., 2021). Плодовые растения способны использовать примерно до двух третей азота из минеральных удобрений, до 20-30% его закрепляется в корнеобитаемом слое почвы и примерно такая же часть вымывается или испаряется в ходе окислительно-восстановительных процессов (Кондаков, 2007). При промывном водном режиме (например, в условиях фертигации) может происходить вымывание минеральных элементов боковым или нисходящим током воды из корнеобитаемого слоя (Трунов, 2016).

Передвижение воды с растворёнными веществами идет путём инфильтрации с поверхности и инфлюации (просачивания) по трещинам, порам в грунтовые воды. Нитратные и амидные азотные удобрения легко перемещаются по профилю почвы, благодаря высокой растворимости. В промывных водах нитраты составляют до 90% соединений азота, тогда как аммонийный азот легко связывается глинистыми породами почвы (Damaška, 1985; Welte, 1982). Степень вымывания азота максимальна для нитратной формы и снижается для амидов и цианамидов (Язвицкий, 1972; Matousch, 1982; Крысанов, 1995), имеются данные о снижении вымывания за счет стимуляции поглотительной способности корней малыми дозами азота (Welte, 1982).

При поверхностном способе внесения лишь нитратный азот проникает вглубь почвы, а аммонийная форма задерживается в верхнем слое (Кондаков, 1999). Из удобрений, внесенных таким способом, растения могут усвоить менее половины азота, а примерно треть составляют безвозвратные потери (Семенов и др., 1983; Barry et al., 1985; Лебедева и др., 1996). Процессы испарения азота из

почвы зависят от влажности, температуры, кислотности, аэрации почвы, её микробиоты и других факторов (Кондаков, 2002).

Локализация удобрений снижает необменное поглощение аммония почвой, тормозит нитрификацию и способствует лучшему использованию азота (Ермолаев, Мойстренко, 1987). Заделка удобрений на глубину 15 см снижает потери азота от полутора до трех с половиной раз, что объясняется меньшей интенсивностью окисления и большим поглощением газов на глубине. Еще большая глубина заделки удобрений приводит к уменьшению доступности их для растений (Семенов и др., 1983; Barry et al., 1985; Благовещенская, Магиндович, 1987; Кондаков, 2002).

Калий по мобильности уступает азоту, но превосходит фосфор и бывает сильно подвержен вымыванию на легких почвах. Факторами, влияющими на вымывание ионов K^+ , являются содержание гумуса и механический состав почвы, уровень осадков, наличие эрозии (Крылова, 1980; Børgesen, 1981; Damaška, 1985). Известно, что на общие потери калия и его концентрацию в почвенном инфильтрате минеральные удобрения существенного влияния не оказывают (Welte, 1982; Baier, Barerova, 1985).

1.3 Движение азота и калия в биологической системе «растение-почва-атмосфера»

Минеральный состав вегетативных органов растений зависит от их питания. Влияние на растение основных элементов минерального питания связано с активизацией процессов роста и обмена веществ (Вегера, 1978; Hauness, 1981; Челомбитко, 1982; Балобин, Матвеева, 1984). Содержание минеральных элементов питания в органах растений очень вариабельно. В листьях яблони содержится в среднем 1,8-2,8% азота; 1,2-2,0% калия; 0,3-0,5% фосфора; 1,2-2,4% кальция; 0,1-0,5% магния. Одревесневшие части побегов содержат 0,7% азота; 0,3-0,6% калия; 0,3-0,4% фосфора; 0,6-0,7% кальция; 0,1% магния. В корнях содержится

1,0-1,5% азота; 0,3-0,4% калия; 0,1-0,2% фосфора; 0,6-1,0% кальция и менее 0,1% магния (Фидлер, 1970; Язвицкий, 1972; Церлинг, 1978, 1990; Спиваковский, 1984; Фауст, 1989; Кондаков, 1999).

Основное внимание при изучении минерального питания яблони во многих исследованиях уделяется составу листьев, поскольку в надземных органах концентрация минеральных элементов отличается выраженным гомеостазом (Удовенко, 1965; Лебедев, 1969; Долгов, 1986; Грин, Стаут, Тейлор, 1996). По данным А.К. Кондакова (1999), в листьях яблони на сильнорослых подвоях (при отборе проб в 1 половине августа) оптимальному уровню содержания соответствует 2,2% азота, 1,5% калия и 0,4% фосфора. Концентрация минеральных элементов в корневой системе варьирует сильнее, поскольку в ней происходит их резервирование с возможностью последующего использования (Tromp, 1983; Лебедев, 1985; Трунов, 2004).

На распределение минеральных элементов в кроне плодового дерева влияют внутренние (эндогенные) и внешние (экзогенные) факторы. Из последних важную роль играют почвенно-климатические условия: тип почв, уровень агротехники, погода, освещенность, атмосферные осадки. Исследователи отмечают важность учета погодных условий при диагностике почвенного питания, т.к. поступление минералов в листья растений усиливается во влажные годы (Язвицкий, 1972; Фидлер, 1970; Stanislavsević, 1992).

К эндогенным факторам относятся фазы развития и возраст деревьев, тип кроны и сила обрезки, интенсивность плодоношения и накопления биомассы, тип подвоя и наследственные (видовые и сортовые) особенности. Относительно роли сорта в накоплении и распределении элементов минерального питания исследователи не пришли к единому мнению. По одним данным, в содержании минеральных элементов в листьях между помологическими сортами не отмечалось значимых различий (Whitfield, 1964; Вегера, 1978; Кузин, 1997 и др.). У других авторов было выявлено влияние сорта на содержание элементов минерального питания в листьях и других органах плодовых растений, особенно калия (Gruppe, 1962; Фидлер, 1970; Кобляков, 1972; Васильченко, 1980; Долгов, 1986; Лесогорова, Ко-

валева, Когут, 1986; Тарасов, Маймусова, Коваленко, 1986; Дорошенко, Макарова, Дубравина, 1994; Кехаев, 1994).

Также нет однозначных данных о влиянии подвоя на минеральный состав органов. Например, для яблони рядом исследователей было показано влияние формы подвоя на концентрацию элементов минерального питания в листьях привитых сортов (Моисейченко, 1975, Будаговский, 1976; Oberly, Poling, 1979; Кузин, 1997; Юрьев, 1998). В других исследованиях не отмечалось существенного влияния подвоев на содержание азота, фосфора и калия в листьях, хотя на карликовом подвое М9 наблюдалась тенденция к их более высокой концентрации (Вегера, 1978). В ряде опытов было показано, что от подвоя может зависеть изменение содержания одних минеральных элементов (например, калия) и практически не зависеть – содержание других (например, азота и фосфора) в листе яблони (Whitfield, 1964; Szalai, 1977). Возможно, влияние подвоя и сорта нивелируется более сильными факторами (Трунов, 2016).

Альтернативные данные представлены в литературе и по вопросу влияния возраста растения на концентрацию в нем различных веществ. В некоторых исследованиях не установлено такого влияния (Семенюк, 1983), тогда как в других отмечается зависимость химического состава органов от этапа онтогенеза деревьев (Зеленская, Шепельская, 1973; Танасьев, 1985; Stanislavjević, 1992; Olszewski, Augustin, Szczepanski, 1993). В исследованиях Ю.В. Трунова выявлялось снижение концентрации калия в листьях с возрастом при отсутствии значимых изменений у азота и фосфора; также предполагается, что причиной снижения концентрации элементов питания может стать быстрый вегетативный рост (Трунов, 2010; 2016).

Многие исследователи отмечают связь содержания минеральных элементов в листьях с урожайностью, причем для азота, кальция и магния она положительная, а для калия и фосфора – отрицательная (Церлинг, 1963, 1975; Фидлер, 1970; Зеленская, Шепельская, 1973; Мовчан, 1976; Семенюк, 1983; Rupp, Hubner, 1995). Другие обнаружили обратные зависимости (Szücs, 1986; Szücs, Minoliffy, 1987). По некоторым данным у сортов с периодическим плодоношением в неурожайные

годы содержание основных элементов питания в листьях ниже, чем в урожайные (Библина, Кириллов, 1972).

В ряде работ выявлено, что в урожайные годы количество азота и фосфора в листьях выше, а содержание калия ниже из-за выноса с урожаем. При этом у не плодоносящих деревьев, содержание азота и фосфора было пониженным, а калия – повышенным по сравнению с плодоносящими (Беспечальная, 1967). У яблони в неурожайные годы отмечался рост потребности в азоте, а в урожайные – потребности в калии и фосфоре (Канивец, Семина, 1961). Накопление азота в листьях может вызываться усиленным оттоком калия и фосфора к плодам в урожайные годы, в результате чего нарушается обмен веществ (Вебера, 1978; Криворучко, 1987).

По всей видимости, взаимосвязь между урожайностью деревьев и содержанием элементов питания в листьях не однозначна и не всегда эмпирически достоверна. Многие авторы считают, что отсутствие прямой связи между урожайностью и содержанием питательных веществ в листьях объясняется наличием физиологического резерва элементов минерального питания, который расходуется в период возросшей потребности в них (Зеленская, 1978; Егорова, Белов, 1981; Девятков, 1989; Соловьев, 1989; Фауст, 1989).

Зависимость между дозой минеральных удобрений и концентрацией элементов питания в листьях сложна и противоречива для разных элементов или же авторами констатируется отсутствие прямой зависимости (Лехова, Дойчев, 1957; Балобин, Матвеева, 1974; Михалевский, 1975; Фоменко, 1975; Шестопалова, 1975; Мовчан, 1976; Голикова, Суглобов, 1981; Танасьев, 1985; Szücs, 1986; Дементьева, 1986; Козыр, 1987; Церлинг, 1990; Shadchina, 1995; Горбач, 1999). Некоторые исследования подтверждают комплексную зависимость количества азота, калия и фосфора в листьях яблони, с одной стороны, от сортовых особенностей культуры и, с другой стороны, оптимального сочетания элементов во внешней среде (Трунов, Гришутина, 1998; Трунов, 2010, 2016).

Изменение минерального состава вегетативных органов растений не бывает пропорционально изменению химического состава почвы (Федоров, Вахмистров, 1980). По мнению В. Фидлера (1970), вопрос о возможности корректировки сис-

темы удобрений на основе листовой диагностики является спорным. Как показывает А.С. Девятков (1993), листовая диагностика элементов питания эффективна лишь в условиях голодания растений и малопригодна для уточнения доз удобрения в условиях среднего плодородия почв. Существует точка зрения, что точный расчёт истинной потребности деревьев в минеральных веществах невозможен из-за разнообразия в их физиологических и почвенных условиях (Кобель, 1957). Таким образом, сведения, полученные путем листовой диагностики, носят слишком общий характер и не годятся для использования в расчетах доз удобрений на производстве (Соловьев, 1989; Девятков, 1989, 1993; Швагждис, 1997).

Эпизодическому, стихийному поступлению минеральных веществ в растения противопоставляется система их гомеостаза – набор регулируемых связей, обеспечивающих постоянство внутренней среды организма во всем диапазоне условий внешней среды (Новосельцев, 1991; Грин, Стаут, Тейлор, 1996). На дополнительное поступление питательных элементов плодовые деревья отвечают не столько увеличением концентрации этих элементов в листьях, сколько приростом биомассы. Поэтому даже при оптимальном количестве элементов минерального питания в листьях возможен рост урожайности при дополнительной подкормке, если действие удобрений не ограничивается иными условиями среды (Копытко, 1986; Кондратьев, 1990).

К прогнозированию эффекта от внесения удобрений целесообразно подходить по принципу «минимума – оптимума – максимума». В условиях выраженного дефицита того или иного элемента следует ожидать сильного положительного влияния соответствующих удобрений. В оптимальных условиях эффективность удобрений будет снижаться, а при избыточном поступлении элементов питания жизнедеятельность растений может ухудшиться (Кондратьев, 1991).

Потенциальная продуктивность яблони определяется наследственными особенностями сорто-подвойной комбинации, от которых зависит специфика обмена веществ и устойчивость гомеостаза растения. При наличии нужных агроклиматических условий и обеспеченности биогенными элементами реальная продуктивность плодового дерева стремится к потенциальной продуктивности для данного

генотипа в данной среде. Детерминантами, от которых зависит реализация биопотенциала яблони являются климатические (в т.ч. метеорологические), эдафические (почвенные) и агротехнические факторы, а также биотические факторы, включающие отношения между живыми организмами агроценоза (Гудковский, 1998). Система средовых факторов влияет на реализацию потенциала генотипа (сорта, подвоя) через обмен веществ растения, определяя конкретный уровень его продуктивности и устойчивости в данных экологических условиях (Трунов, 2016).

Экологические факторы имеют определяющее значение в устойчивости насаждений плодовых культур, их продуктивности и качестве урожая. Управление устойчивостью и продуктивностью агроэкосистем базируется на поддержании динамического равновесия путем оптимизации как сортимента и агротехники, так и уровня факторов природной среды для основной культуры (Кашин, 1995).

Анализ динамики целостной агроэкосистемы на практике сталкивается с проблемой большой сложности взаимосвязей между её переменными, что не позволяет пока создать удовлетворительную описательную модель с помощью статистических методов, тогда как теоретический анализ на основе общих законов развития с трудом применим в практическом садоводстве. В научной литературе предлагается ситуационный подход к построению экологической модели, предусматривающий выбор и моделирование одной из множества функций в системе «растение-почва-атмосфера» в условиях конкретного сочетания экологических факторов. Одним из немногих регулируемых факторов в агроэкосистеме является удобрение, позволяющее повышать концентрацию элементов в почвенном растворе, а также менять pH почвы (Важенин, 1998; Трунов, 2016; Попова и др., 2023).

В течение сезонного роста плодовые деревья накапливают биомассу ($\Delta M_{\text{общ.}}$), в которую входят масса вегетативных органов ($\Delta M_{\text{вег.}}$) и масса плодов ($M_{\text{уп.}}$). Величина биомассы отражает реализацию потенциала продуктивности растений в заданных агроклиматических условиях, а ее распределение по компонентам зависит от генотипа, возраста и состояния растений под действием агроэкологических факторов среды. Распределение поглощённых корнями минеральных веществ происходит в ходе роста и синтеза органики пропорционально массе растущих органов и потреб-

ности в элементах питания в пунктах их ассимиляции. Часть минеральных элементов, будучи изъятой из сада с урожаем или закрепленная в многолетних вегетативных органах составляет дефицит (отрицательный баланс) элементов агроэкосистемы. Другая часть веществ, поступившая в молодые корни и листья, возвращается в почву вместе с листовым опадом и веществом отмирающих корней и вновь включается в круговорот веществ, благодаря минерализации (Рисунок 1.1).

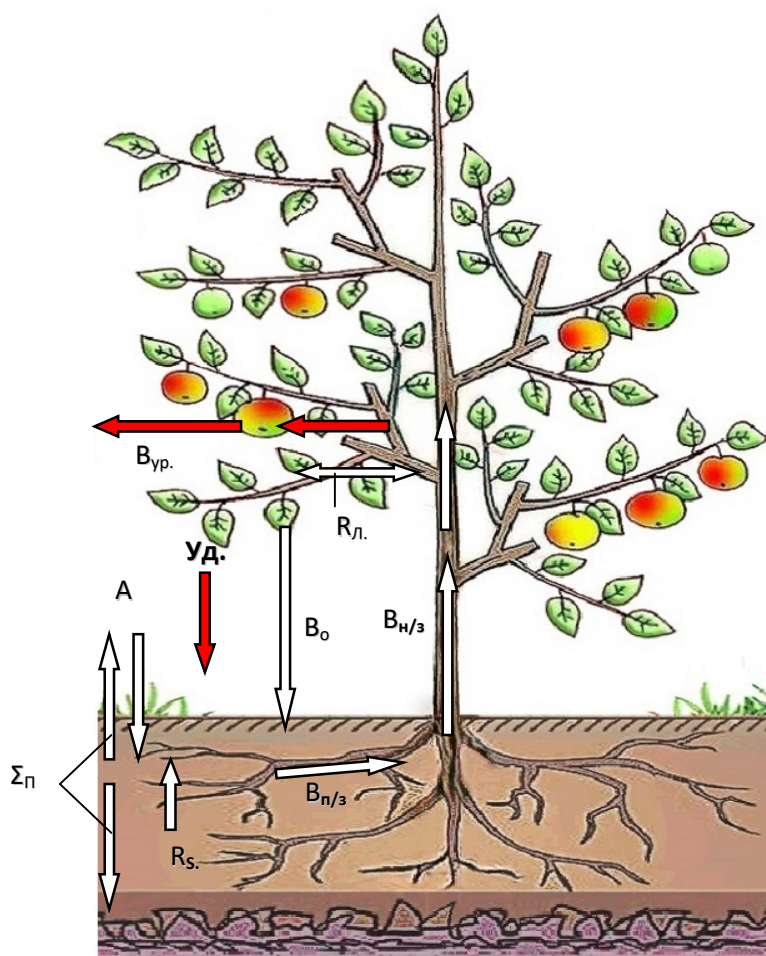


Рисунок 1.1 – Движение элементов в системе «растение-почва-атмосфера»

Обозначения: $R_{с.}$ – запас элемента в почве, $B_{п/з.}$ – вынос элемента подземными органами, $B_{н/з.}$ – вынос элемента надземными органами, $V_{ур.}$ – вынос элемента с урожаем, $R_{л.}$ – резервирование элемента в листьях; A – атмосфера как источник поступления элемента, $\Sigma_{п}$ – суммарные потери элемента из почвы; B_o – возврат элемента с растительными остатками; $Уд.$ – внесение элемента с удобрениями. Красным обозначены процессы, регулируемые человеком.

Для поддержания исходного плодородия почвы дефицит элементов, возникший в результате их выноса и отчуждения плодовыми деревьями требует компенсации при помощи удобрений (Трунов, 2007, 2016).

Потребность дерева в минеральном питании определяется балансом элементов в системе «растение-почва-атмосфера» при формировании вегетативной и генеративной биомассы с учетом их возврата в почву – основной резервуар биогенных элементов. Некоторые из нерегулируемых экологических факторов (свет, тепло, осадки), могут оказывать влияние на доступность для поглощения корнями растений элементов питания из почвы (Коровин и др., 1964; Лебедев, 1985; Трунов, 2016; Фоменко и др., 2017).

Дефицит элементов во внешней среде интенсифицирует поглощение минеральных элементов в 1,5-2,3 раза (Лебедев, 1985), причем не столько за счет роста поглотительной способности корней, сколько за счет повышения их относительной доли в биомассе растения и за счет развития микоризы (Nye, Tinker, 1977). При избытке одного из минеральных элементов может снижаться поглощение других, доступность которых будет становиться ограничивающим фактором для продуктивности растений (Удовенко, 1965; Майдебур, 1978; Лебедев, 1985). Так, по данным Ю.В. Трунова (2016), дисбаланс элементов питания в почвенном растворе (за счет повышения концентрации одного из них) снижал поглощение калия корневой системой яблони.

При минимальном уровне исходного содержания некоторых элементов питания их добавление в систему «растение-почва-атмосфера» включает положительную обратную связь. Например, в исследованиях было установлено, что потребность растений в азоте и фосфоре увеличивается не только с ростом температуры и влажности, но и под действием самих азотных удобрений. Потребность в калии зависела от влажности, светового режима, а также от уровня калийного и азотного питания растений. Усиление азотного питания у яблони приводило к усилению потребления ею азота и других элементов (Коровин и др., 1964; Лебедев, 1985; Долгов, 1986).

Механизмы положительной обратной связи уровня потребления азота растениями яблони с уровнем азотных удобрений определяются ростом биодоступности этого элемента с увеличением активной части корневой системы подвоя, влияющей на развитие и минеральный состав органов всего растения в пределах его генетических возможностей (Pettersson, Tensen, 1983; Лебедев, 1985; Трунов И.А., 1996). Поглощение калия корнями яблони зависит от концентрации как азота, так и самого калия, в совокупности обуславливающих рост продуктивности и использование калия растениями яблони (Трунов, 2016).

Удобрение необходимо для поддержания оптимума питательных веществ и повышения плодородия почвы, поскольку при интенсивном возделывании садовых культур запасы питательных веществ в почвах исчерпываются особенно быстро (Копытко, 1970; Панников, Минеев, 1987; Кондратьев, 1991). Учет баланса элементов питания как соотношения концентрации веществ, нужных для формирования урожая различных сельскохозяйственных культур, и веществ, реально доступных растениям конкретной культуры, необходим при создании программ снабжения садовых насаждений удобрениями (Рейвн, Эверт, Айкхорн, 1990).

В садоводстве в настоящее время используются методы расчета доз удобрений по результатам почвенной диагностики с поправкой на величину планируемого урожая (Криворучко, 1983) и почвенно-листовой диагностики (Церлинг, 1990; Кондаков, 1999). Выявление реальной потребности плодовых растений в удобрениях, определение режима их минерального питания с учётом экономической и экологической целесообразности базируется на изучении выноса ими элементов питания из почвы (Бабук, 1975; Дементьева, 1975; Морозовский, 1975; Фидлер, 1983; Крылова, 1988; Садовски А., 1990; Кондратьев, 1991; Девятов, 1993; Соколов, Семенов, 1994; Кашин, 1995; Харламова, 1995; Трунов И.А., 1996).

Обоснованное применение минеральных удобрений, особенно азотных, повышает вынос азота, калия и фосфора многолетними растениями плодового сада с увеличением их биомассы (Дементьева, 1975; Кошер, Кондратьев, 1976; Загиров, 1996).

Расчет выноса элементов плодовыми деревьями позволяет решить несколько задач:

- восполнение элементов минерального питания, связанных в кронах деревьев и вынесенных с урожаем;
- сохранение почвенного плодородия и предупреждение дисбаланса элементов в условиях монокультуры;
- прогнозирование потребности растений в удобрениях в многолетней перспективе (Морозовский, 1975).

Опытные данные по ежегодному выносу азота, калия и фосфора были получены для яблони и других плодовых культур в разных почвенно-климатических зонах в условиях маточников, питомников и садов с разной плотностью посадки и уровнями продуктивности (Кошер, Кондратьев, 1976; Шафран, 1977; Крылова, 1979; Шорохов, Руденко, 1980; Куренной и др., 1985; Зюрюкин, 1986; Wolf, 1989; Садовский, 1990; Трунов, 1996).

Культура яблони характеризуется длительностью вегетации, сильным развитием корней и при этом сравнительно невысоким уровнем выноса минеральных элементов и способностью к их реутилизации и использованию при низкой концентрации (Кондратьев, 1991). Корневая система яблони способна преобразовывать малодоступные формы элементов в доступные, что позволяет достаточно долго справляться с их дефицитом (Метлицкий, 1973; Спиваковский, 1984), хотя необходимость пополнять их запасы в почве сохраняется (Кобляков, 1970; Климашевский, 1983; Кондратьев, 1991; Дорошенко, Кондратенко, 1998). Биологический вынос минералов деревьями яблони прямо пропорционален ежегодному приросту биомассы и зависит от комбинации сорта и подвоя (Бабук, 1975; Кехаев, 1995), хозяйственный вынос калия преобладает над отчуждением азота, в меньшей степени выражен вынос фосфора (Шорохов, Руденко, 1980).

На сегодняшний день в большинстве научных трудов по садоводству констатируется отсутствие общей модели минерального режима и системы рационального применения удобрений для плодовых деревьев. Большинство рекомендаций основано на опытном подборе доз, однако уже есть работы с

расчетами норм удобрений, базирующиеся на определении выноса элементов минерального питания плодовыми деревьями в условиях Центральной и Центрально-Черноземной зон России, Северного Кавказа, в странах бывшего СССР (Украина, Молдова) (Бабук, 1990; Краюшкина, Дадыко, 1994; Загиров, 1996; Трунов, 2016-2025; Расулов, 1998-2024).

1.4 Моделирование биологических процессов в садоводстве

Необходимой составляющей информации для управления продуктивностью и устойчивостью агроценозов является учёт данных о процессах роста и развития растений в агроэкосистемах в связи с комплексными почвенно-климатическими факторами. Многофакторная оценка условий реализации биологического потенциала продуктивности плодового сада рассматривается как цель научных исследований в плововодстве, в связи с чем подчеркивается важность характера системных связей между параметрами среды и жизнедеятельностью плодовых растений (Курец, Попов, 1991; Теренько, 1992). Получение и анализ многолетних экспериментальных данных служит основой для понимания этих процессов и прогнозирования потребности яблони на клоновых подвоях в элементах питания в молодом саду (Трунов, 2016).

На современном этапе развития информационных технологий и вычислительных возможностей растет значение моделирования и прогнозирования биологических процессов. Целью математического моделирования является построение обобщенной (формализованной) модели, которая на основе статистических критериев предоставляла бы адекватную информацию о физиологическом состоянии объекта, идущих в нем процессах, тенденциях и закономерностях его развития, и её можно было использовать для планирования (прогнозирования) урожая. Основой моделирования продуктивных функций растения должно выступать знание

его основных биологических процессов, которые рассматривают как взаимосвязанную систему, подверженную действию как внутренних (физиологических), так и внешних (метеорологических, почвенных) факторов (Карманова, 1976; Бондаренко, 1983; Колесин, 1994).

При планировании и прогнозировании урожая И.С. Шатилов, А.Ф. Чудновский (1980) выделяют локальный и универсальный подходы. Первый предполагает на основе опытных данных при данных ограниченных условиях установление связей между состоянием культуры и влияющими на неё факторами. Такие эмпирические модели адекватны локальной местности и ограниченным условиям, для которых они получены. Их эмпирические константы не могут быть перенесены на другие территориальные, эдафические, климатические и сезонные условия, на растения с иной нормой реакции генотипа.

Универсальным авторы (Шатилов, Чудновский, 1980) называют подход, предполагающий на базе учёта сложных взаимодействий растений с окружающей средой, изучения фундаментальных процессов роста и развития растений, построение теоретической модели урожая. При этом общая количественная модель включает множественные частные подмодели: физиологические, почвенные, метеорологические, микробиологические и прочие, описанные математическими методами. Однако универсальные модели с трудом реализовывают себя на практике, т.к. требуют учёта множества характеристик, нередко неизвестных или не доступных.

В многообразии методов математического моделирования выделяют три основных направления (Шатилов, Чудновский, 1980; Курец, Попов, 1991).

1. Теоретическое моделирование, представляющее собой математическое описание сложного комплекса биологических и экологических процессов в форме блок-схемы, из которой видно взаимодействие отдельных подсистем, соответствующих элементам структуры.

Одна из фундаментальных моделей в растениеводстве, включающая ряд функциональных блоков (физиологического, биофизического, почвенного и метеорологического) и математически описанных процессов (ассимиляции, дисси-

миляции, распределения ассимилятов и обмена со средой, роста и развития) разработана Ю.К. Россом (1975). Такие же блоки включает динамическая модель О.Д. Сиротенко и А.П. Бойко (1977) с уравнениями ростовых функций. Теоретические модели со сложной системой уравнений также разрабатывались Г.В. Менжулиным (1972), Р.А. Полуэктовым (1973), А.А. Климовым и др. (1974). Несмотря на преимущества, сложность математических вычислений и множественность неизвестных функций и коэффициентов не дают легко использовать теоретическое моделирование в конкретных расчётах продуктивности хозяйств (Шатилов, Чудновский, 1980; Трунов, 2016).

2. Эмпирико-статистические методы моделирования, которые предполагают вычисление конечного урожая путём подбора математических формул к имеющимся экспериментальным данным без тщательного теоретического обоснования полученных параметров.

Они включают в себя простые и сложные приёмы, однофакторные и многофакторные соотношения, прямые и обратные связи. Эмпирические формулы могут иметь любой вид, но в итоге сводятся к раскрытию, анализу, оценке и использованию регрессионных функций зависимости от одного или нескольких факторов общего вида: $y = f(x)$; $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. В реальных условиях агроценоза большинство факторов нельзя считать независимыми, поэтому в аргументе функции регрессии наряду с отдельными факторами появляются и их произведения ($x_1 \cdot x_2, x_1 \cdot x_3, x_2 \cdot x_3, \dots, x_{n-1} \cdot x_n$) (Петрушин, Бобрович, 1999). При решении многих конкретных задач в садоводстве регрессионный анализ может быть эффективно использован для определения зависимости какого-либо биологического параметра от одного или нескольких других факторов (Чуча, 1998).

Классические уравнения Э.А. Митчерлиха были одной из первых эмпирических моделей (1905-1931 гг.), описывающих подбор дозировки удобрений и их влияние на урожай растений на основе логарифмической функции (Никитин, 1981; Ягодин, 2002). Одним из подходов является метод определения действительно возможного урожая, предложенный Ю.И. Ермохиным, А.Ф. Неклюдовым, В.М. Красницким в 2000 году (Минеев, 2017). Подобие или адекватность модели

исследуемому процессу или явлению оцениваются при помощи различных критериев, в том числе Стьюдента, Фишера, χ -квадрат, дисперсионного анализа, коэффициентов корреляции, регрессии, детерминации, построением графического распределения и т.д. Для агрономических исследований приемлемым считается уровень значимости 95% (Петрушин, Бобрович, 1999). В реалиях аграрного производства, тем не менее, большинство моделей эмпирико-статистического типа пригодно для грубой, приблизительной оценки зависимости параметров растения от малого числа факторов и, чаще всего, – в довольно узком диапазоне условий (Трунов, 2016).

В качестве серьезного недостатка эмпирико-статистического моделирования указывается ограниченность, локальность, неполнота учёта факторов, необходимость получения отдельной формулы для каждого сорта, для отдельных почвенно-климатических, агрометеорологических условий и т.д. (Трунов, 2016). Однако, если правильно применён метод регрессионного анализа, указаны границы применимости полученных функций и условия справедливости количественных оценок, такие функции могут оказаться полезными (Шатилов, Чудновский, 1980).

3. Имитационное моделирование на базе компьютерного анализа, в основе которого лежит частично-эмпирический подход с использованием экспертных систем, математических формул расчетов, автоматизированных систем управления (АСУ) и наборов пользовательских приложений.

Первым этапом процесса моделирования является качественный теоретический анализ изучаемых технологий, методов, процессов, явлений, предварительное обобщение исходных опытных данных и выдвижение гипотезы об их связях, предваряющей поиск и построение формул. Второй этап создания математической модели основан на обобщении причинно-следственных связей между переменными, которые должны быть абстрагированы от второстепенных факторов. Третьим этапом является исследование (проверка) модели, которая сама оценивается на достоверность замены ею моделируемого процесса. Наконец, в качестве четвертого этапа рассматривается экстраполяция моделируемой функции и поиск

границ адекватности модели (Чернова, 1988; Новикова, 1999). Однако, как отмечают исследователи, никакое обобщение не в состоянии учесть все многообразие реально действующих факторов системы «растение – среда», а потому чем выше адекватность модели, тем слабее ее реальная применимость в условиях производства (Курец, Попов, 1991).

Разделение подходов к моделированию в известной степени условно, поскольку даже самая обобщенная фундаментальная модель базируется на опытных данных, с другой стороны, даже применяя простое уравнение регрессии исследователь может проинтерпретировать теоретический смысл полученных параметров, обосновать форму кривой регрессии с точки зрения стоящих за ней биологических процессов, их прямых и обратных связей. При этом применение компьютерных средств охватывает построение любой современной математической модели.

Например, при моделировании процессов и связей в системе «растение-почва-атмосфера» на основе эмпирических данных важен обоснованный выбор кривой регрессии. Даже при подтверждении тесной связи модельной функции с эмпирическими данными далеко не все кривые эффективны, поскольку биологические процессы обычно не являются линейными и характеризуются наличием предельных значений (Трунов, 2016).

Например, в развитии растений всегда наступают этапы от интенсивного нарастания до ослабления или затухания физиологических функций, несмотря на продолжение роста исследуемого фактора, как в онтогенезе, так и в течение годового цикла (Шитт, 1968; Исаева, 1987): так прекращается вегетативный рост побегов, штамба, корневой системы, биомассы, фотосинтезирующей поверхности; достигает своих пределов величина поглощения и выноса элементов питания. Влияние метеорологических и почвенных факторов на продуктивность растений также предполагает наличие оптимальной зоны, минимума и максимума, и других характеристик «кривой роста» (Шувалов, Кондратьев, 1998). При увеличении действия экологических факторов должен происходить подъём урожайности, а затем стабилизация и снижение, описываемое логистической функцией, как отмечают И.С. Шатилов, А.Д. Чудновский (1980). Зависимость продуктивности от общего уровня

питания описывается одновершинной кривой с быстрым подъёмом и более медленным снижением в модели Омеса-Ван Схура (Homes, van Schoor, 1982)

В садоводстве также сделаны попытки построения наиболее подходящих моделей продукционного процесса яблони: модель вероятной продуктивности яблоневого сада разработана К.Н. Кондратьевым (1990, 1991); модель комплексной оценки пригодности (бонитета) территории под сады в зависимости агроэкологических факторов дана В.И. Кашиным (1995); модели связи биофизических характеристик яблони (продуктивность и КПД фотосинтеза) с агрометеорологическими факторами предложены В.Н. Петрушиным (1988, 1999), им же описан рост штамба и продуктивности по годам (1999). В опытах с яблоней показательно-степенная функция для моделирования компонентов продуктивности была использована В.Н. Петрушиным, Л.В. Бобрович (1999), Ю.В. Труновым (1998, 2003), Н.В. Картечиной (2004).

Ряд авторов ищет регрессионные зависимости и причинно-следственные связи между внутренними параметрами и процессами объектов исследования. Так, экспоненциальная модель развития биомассы и урожая винограда от времени вегетационного периода предложена С.Г. Бондаренко (1976). А.Р. Расуловым, П.Г. Лучковым (1998) установлена прямая зависимость массы деревьев яблони от поперечного сечения штамба. По данным Ю.В. Трунова (2003, 2016), зависимость биомассы от диаметра штамба отличается от линейной и лучше описывается полиномом 3 степени. Масса листьев и величина ежегодного прироста биомассы (Δm) яблони от диаметра штамба ($Ш_0$) описана как логарифмической кривая зависимости: « $\Delta m = a \ln(Ш_0) - b$ » (Трунов, 2016).

В реальных агрономических исследованиях, садоводстве, часто пользуются методом подбора наиболее подходящих зависимостей, лучше всего оправдывающихся в конкретных экологических условиях. При этом, по мнению исследователей (Шатилов, Чудновский, 1980), удобен метод выравнивания и нормализации корреляционных связей, облегчающий получение многофакторной зависимости урожая от агроэкологических условий.

В этом случае строится линейное уравнение множественной регрессии вида: « $y = a_0 f_0(x_0) + a_1 f_1(x_1) + a_2 f_2(x_2) + \dots + a_n f_n(x_n)$ » – относительно любого количества (n) искомым линейных или нелинейных функций $f_i(x_i)$, вид которых подбирается эмпирическим путём. Например, уравнение множественной регрессии максимальных при определённых условиях урожаев яблони в зависимости от наилучших сочетаний доз удобрений было получено В.Н. Перегудовым (Чуча, 1998).

Таким образом, методами многофакторного регрессионного анализа можно получать достаточно эффективные модели продукционного процесса плодовых растений, но в каждой конкретной ситуации требуется находить или уточнять входящие в уравнения эмпирические коэффициенты, что требует проведения дополнительных экспериментов.

ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Условия проведения исследований

Исследования проведены в 2015-2024 гг. в интенсивном саду 2015 года посадки закрытого акционерного общества «Агрофирма им. 15 лет Октября» Лебедянского района Липецкой области (Рисунок 2.1).

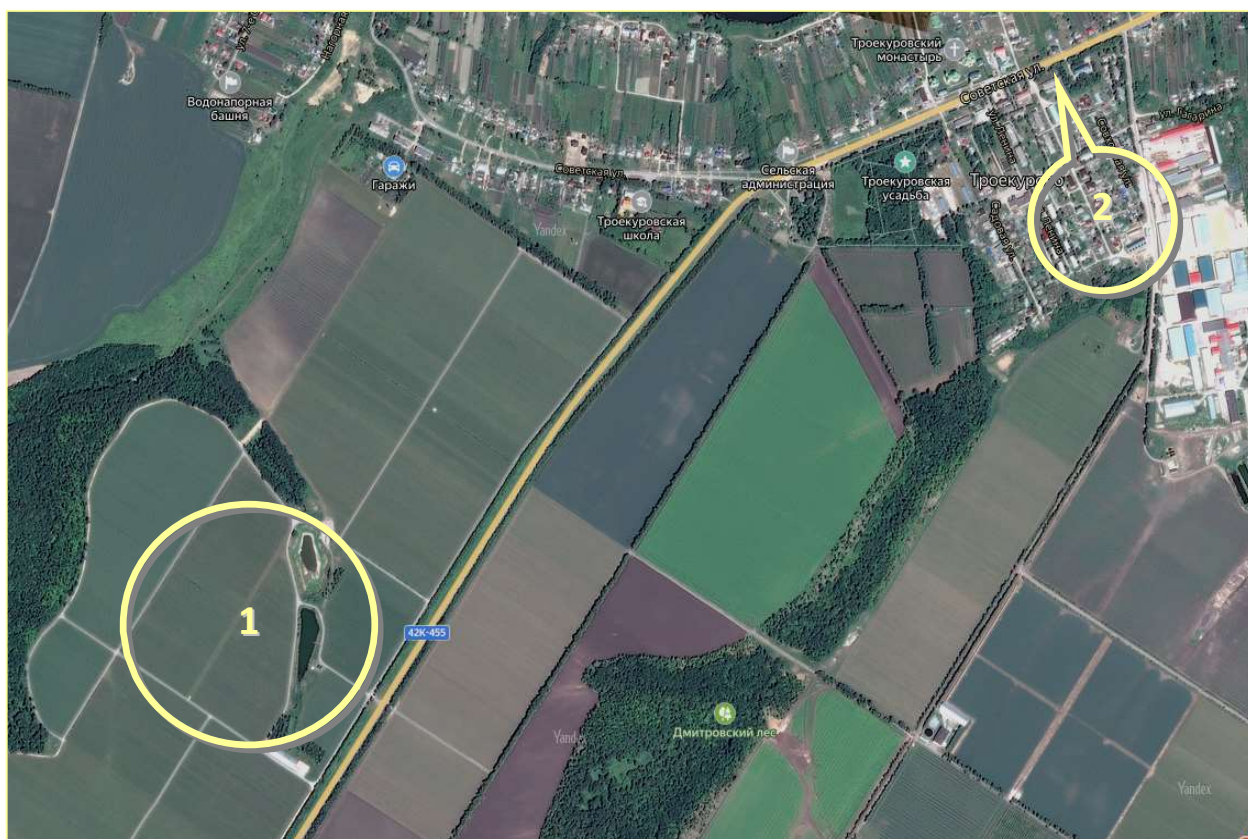


Рисунок 2.1 – ЗАО «Агрофирма им. 15 лет Октября» Лебедянского района Липецкой области (1 – садовое отделение; 2 – офис).

Климат Липецкой области умеренно-континентальный, с хорошо выраженными сезонами года. Зима умеренная, с развитым снежным покровом. Средняя температура воздуха в северной части района составляет $+6,5^{\circ}\text{C}$ и колеблется от $+4,6$ до $+8,1^{\circ}\text{C}$. Наиболее холодный месяц январь, средняя температура составляет

–8°C, абсолютный минимум: –33,8°C. Лето тёплое, продолжительное. Период активной вегетации плодовых культур (больше +10°C) длится 155-170 дней, с суммой положительных температур 2600-2800°C. Средняя температура июля – +20-+21°C, абсолютный максимум составляет +39,2°C. Среднегодовое количество осадков Липецкой области варьирует в пределах 400-500 мм, но бывают и более резкие колебания по годам от 300 до 700, что приводит к засухе и суховеям (в среднем 1 раз в 4 года) (Климатический атлас..., 1967).

За период наблюдений наиболее наименьшей средней температурой характеризовались годы с 2016 по 2018 (менее 7°C), а наибольшей – 2020 и 2024 гг. (не менее 8°C). Наиболее холодные в среднем зимы были в начале 2016 г., 2021 г. и 2024 г. Наиболее высокая и стабильная температура весной отмечалась в 2023 году. Метеорологические условия района в целом пригодны для возделывания яблони, но из-за нестабильной влагообеспеченности в период вегетации и довольно низких температур в зимний сезон (до –25 - –30°C) у растений может снижаться урожайность и ухудшаться общее состояние. Неблагоприятные погодные условия отмечались зимой 2022 года (морозы, приведшие к вымерзанию деревьев). На территории Липецкой области могут возникать поздние весенние заморозки, которые представляют опасность для цветков и завязей яблони. Это явление и произошло в мае 2024 года, когда заморозки во время цветения яблони погубили около 70% урожая по всей территории Липецкой области. Меньше всего осадков наблюдается в феврале-марте: около 30 мм. Максимум приходится на июнь-июль: более 60 миллиметров. Максимальное количество осадков отмечалось в 2022 году, а минимальное – в 2018 и 2024 году (Приложение 2).

Почвы опытного участка – среднесуглинистые со среднесильным черным плодородным слоем (60-65 см), слабокислые, среднеобеспеченные элементами минерального питания. От характерных для области выщелоченных черноземов (Соколов, 1963) почвы в изучаемом интенсивном яблоневом саду отличаются признаками оглеения в горизонте В₂ и немного меньшим pH (6-6,5). Анализ почв позволяет отнести их к глееватому подтипу глинисто-иллювиальных почв (по классификации почв 2004 г.) или к оподзоленному роду лугово-чернозёмных почв

(по классификации 1977 г.). Основная масса корней яблони на карликовых подвоях распределяется в метровом слое, но наибольшая её часть сосредоточена в гумусовом слое почвы, примерно от 20 до 60 см, что позволяет считать этот массив почвы корнеобитаемым слоем (Интенсивные..., 2016).

2.2 Объекты исследований

Объектами служили 6 сортов яблони: Альва, Беркутовское, Лигол, Лобо, Спартан, Хоней крисп, на карликовом подвое Парадизка Будаговского, который отличается высокой морозостойкостью корневой системы.

Лобо – позднезимний сорт канадского происхождения, полученный на опытной станции Оттавы в 1906 году. В 1972 году был включён в Госреестр по Центрально-Чернозёмному региону. Деревья быстрорастущие, среднерослые, с широкоокруглой разреженной кроной. Плоды крупные, средняя масса яблока достигает 180 г. Срок сбора плодов наступает в конце сентября – начале октября, и длится не более 10 дней. Период потребления – с октября до января.

Альва – зимний сорт польского происхождения, полученный в Институте садоводства и цветоводства в Скерневице. В 2017 году был районирован по Центрально-Чернозёмному региону. Деревья сорта быстрорастущие, с густой раскидистой кроной. Плоды средние, массой 150-170 г. Съёмная зрелость плодов наступает в начале октября, плоды могут храниться до начала мая.

Беркутовское – зимний сорт, выведенный на Саратовской опытной станции садоводства в 1970-х годах. С 1987 года внесён в Госреестр по Нижневолжскому региону. Деревья средней силы роста, с разреженной округлой кроной, без склонности к загущению. Плоды средней и вышесредней величины, масса достигает в среднем 150 г, до 250 г. Съёмная зрелость наступает в конце сентября – начале октября, храниться яблоки могут до апреля-мая.

Лигол – зимний сорт, полученный в польском Институте садоводства и цветоводства г. Скерневице в 1972 г. С 2017 г. районирован в Центрально-Чернозёмном регионе. Деревья средней силы роста, с широкопирамидальной формой кроны. Плоды отличаются высокими товарными качествами, средняя масса около 200 г, до 400 г. Полная потребительская зрелость – начало января.

Спартан – зимний сорт, полученный на опытной станции Саммерленда (Канада) в 1926 году. В Госреестр был включён в 1988 году по Центральному и Центрально-Чернозёмному регионам. Деревья среднерослые, с округлой формой кроны и отклоняющимся в сторону центральным проводником. Плоды среднего размера, массой до 150 г. Мякоть плодов белоснежная, сочная и хрустящая. Яблоки могут храниться до начала апреля.

Хоней крисп – зимний сорт, полученный в центре садоводческих исследований при Университете Миннесоты в 1960 году. Районирован в 2017 году по Центрально-Чернозёмному региону. Деревья среднерослые, быстрорастущие, с компактной широкоовальной кроной. Плоды крупные, массой от 170 до 240 г. Мякоть очень плотная и сочная, с кремовым оттенком, легко скалывается и хрустит. Яблоки могут храниться до апреля.

Парадизка Будаговского (ПБ, В9). Карликовый подвой, полученный В.И. Будаговским в Мичуринске в 1949 году. Имеет высокую морозостойкость корней (корни выдерживают до -14°C) и зимостойкость, хорошо совместим с сортами, обеспечивает скороплодность деревьев (вступление в плодоношение на 1-2-й год после посадки).

2.3 Методика проведения исследований

Эмпирической базой исследования служили интенсивные насаждения яблони ЗАО «Агрофирма им. 15 лет Октября» Лебедянского района Липецкой области.

Агротехника опытного участка осуществлялась по стандартной технологии возделывания интенсивных яблоневых садов:

- подвой – Парадизка Будаговского («В9»),
- схема посадки деревьев 2500 шт./га;
- система формирования крон – веретеновидная (стройное веретено);
- залужение междурядий многолетними злаковыми травами;
- бетонно-проволочная опора (5 проволок);
- система капельного орошения и фертигации;
- стандартная для данной природно-климатической зоны система защиты растений от вредителей и болезней.

Первый этап эмпирического исследования (2015-2023 гг.) являлся измерительно-описательным и был нацелен на изучение и моделирование взаимосвязей между биологическими параметрами яблони в интенсивном саду в течение ее онтогенеза. Объекты: сорта яблони: Лобо, Альва, Беркутовское, Лигол, Спартан, Хоней крисп.

Изучаемые показатели:

1. Площадь листьев яблони изучаемых сортов в динамике.
2. Диаметр штамба яблони изучаемых сортов в динамике.
3. Накопление вегетативной биомассы яблони изучаемых сортов.
4. Урожайность яблони изучаемых сортов в динамике.

Биометрические исследования проводили в соответствии с «Методическими указаниями по агротехническим опытам с плодовыми и ягодными культурами» (ВНИИС им. И.В. Мичурина, 1956, 1973) и «Программой и методикой сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур» (ВНИИСПК, 1999). Измерения проводились ежегодно в августе-сентябре в трехкратной повторности, деланки на участке располагались рандомизированно, количество учётных деревьев в каждой деланке – 10.

Площадь листьев измеряли методом высечек – через пропорцию произведения усредненной сырой массы листьев и площади стандартной высечки (1 см²) к

средней массе высеченного диска. Корневую систему извлекали из почвы по методу В.А. Колесникова (1974).

Биологическую массу растений яблони определяли путём ежегодного взвешивания двух модельных (типичных) деревьев отдельно по органам (листья, плоды, ствол и ветви, корни).

Прирост биомассы ствола, ветвей и корней яблони определяли как разницу между биомассой этих органов соседних лет. Прирост биомассы листьев и плодов определяли путём прямого взвешивания в конце вегетации.

При *математическом моделировании* взаимосвязей в системе «растение – почва – атмосфера» применялись уравнения регрессии с учетом биологического смысла их параметров и теоретически возможной динамики описываемых процессов. В частности, *линейные уравнения* применимы к процессам без выраженной обратной связи, имеющим постоянную скорость. Для линейных уравнений вида « $y = bx + c$ » параметр " b " отражает вклад независимой переменной (НП) в исследуемый процесс, а параметр " c " – начальный уровень зависимой переменной (ЗП). Очевидно, большинство биологических связей близки к линейной зависимости только на узком отрезке значений.

Квадратический тип уравнения (бином второй степени) целесообразен в случае кумулятивного усиления или ослабления действия фактора на изучаемый показатель. В общем виде уравнения « $y = ax^2 + bx + c$ » биологический смысл параметра " a " соответствует силе обратной связи: по мере нарастания НП ее воздействие либо усиливается, либо ослабляется. Если в качестве НП выступает время, то речь идет о самоускоряющемся процессе.

Кривой *дробной степени* (« $y = \sqrt[n]{ax - c}$ ») описываются процессы с постоянным замедлением роста, например, зависимость роста линейных параметров биосистемы от поверхностей или объемов.

Обратный (гиперболический) вид регрессионной кривой (« $y = a/x + c$ ») применим для моделирования процессов с отрицательной связью – при условии отсутствия нулевых значений НП. Параметр " c " имеет ту же размерность, что и ЗП, и соответствует её предельно возможному значению в данной системе. Параметр " a "

имеет размерность произведения ЗП \times НП, и его биологический смысл заключается в отражении величины препятствия, преодолеваемого с ростом НП. По мере нарастания значений НП влияние препятствия в системе снижается, соответственно этому уменьшается чувствительность системы к действию НП. Если в качестве НП выступает время, то речь идет о самотормозящемся процессе.

Экспоненциальной кривой (« $y = e^{ax+b} + c$ ») описываются биологические процессы роста с нарастающей положительной обратной связью (рост в геометрической прогрессии), например, размножение бактерий в условиях неограниченных ресурсов. Размерность параметра " c " такая же, как у ЗП, " b " – безразмерная величина, " a " – обратная к размерности исследуемого фактора.

Логарифмический тип кривой (« $y = a \ln(x) + c$ ») характеризует реакцию биологической системы на некоторые типы внешних воздействий (например, звуковых, световых), коэффициенты имеют ту же размерность, что и ЗП. В нашем исследовании эти две кривые не использовались.

Для описания биологических закономерностей также используется уравнение Ферхюльста (логистическое уравнение), которое было создано при изучении роста численности популяции. Логистическое уравнение Ферхюльста можно привести к следующему обобщенному виду:

$$y = \frac{K}{K \cdot P \cdot e^{-r \cdot x} + 1}, \text{ где:} \quad (2.3.1.)$$

x – воздействующий фактор (у Ферхюльста – число поколений);

y – зависимая переменная (у Ферхюльста – численность популяции);

r – откликаемость системы (у Ферхюльста – скорость размножения);

K – биопотенциал системы (у Ферхюльста – емкость среды);

P – параметр, отражающий затраты системы на рост показателя.

Уравнение описывает процессы роста, *скорость* которых на начальном этапе возрастет до максимума, а при достижении показателем средних величин начинает падать до нуля, – таким образом, график функции выходит на плато (логисти-

ческая кривая, или сигмоида). Параметр " P " (от лат. *pretium* – «затраты») имеет размерность, обратную ЗП, он тормозит ее рост и соответствует разности (2.3.2.):

$$P = \frac{1}{y_0} - \frac{1}{K}, \text{ где } y_0 - \text{ЗП при нулевом аргументе.} \quad (2.3.2.)$$

Начальная часть сигмоиды близка по форме к экспоненциальной кривой, конечная часть – к обратной кривой. Отрезок же сигмоиды около средних значений близок к прямой, и такой её рост можно назвать «квазилинейным». На наш взгляд, большинство моделей для реальных биологических процессов применимы в узком диапазоне значений фактора, и этот диапазон соответствует квазилинейной части сигмоиды.

Таким образом, логистическая модель выступает как вложенная функция: " $\text{ЗП} = f_1(f_2(\text{НП}))$ ", где f_1 – ограниченная в применении модель, f_2 – скрытая логистическая функция на всем диапазоне значений фактора.

Расчет такого вида регрессии наиболее применим для процессов с положительной и отрицательной обратной связью, ограниченных уровнем биологического потенциала. Недостатком метода является необходимость определить значение " K " заранее, перед построением уравнения регрессии. Возможны несколько вариантов эмпирического расчета этой константы.

Первый – визуальный: при достаточной широте уровней независимой переменной и охвате большой выборки на графике видно значение, к которому стремится зависимая переменная.

Из статистических характеристик выборки этот уровень можно получить сложением минимального значения с максимальным (особенно, если средние значения по выборке совпадают с максимальной скоростью роста зависимой величины). При высоком разбросе показателей и неточности отдельных измерений такой способ малонадежен, но близкие значения могут быть получены сложением математического ожидания зависимой переменной с удвоенным стандартным отклонением ($M + 2\sigma$).

Наконец, верхнюю асимптоту для логистической функции можно получить, построив уравнение регрессии выборочных значений к перевернутой гиперболе (кривой вида: $y = C - a/x$). Значение величины "C" и будет практически соответствовать искомой константе ("K"). При построении такой кривой не все наблюдения будут повышать точность расчетов, а только лежащие справа от точки перегиба теоретической сигмоиды. Поэтому минимальные выборочные значения из расчетов следует исключить. При значительной вариабельности данных предсказанное таким способом значение константы может оказаться ниже отдельных наблюдаемых значений, поэтому предлагается поправка на половину разброса ($C + \sigma/2$).

Математическую обработку полученных результатов мы проводили методами дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализа (Гмурман, 1977; Доспехов, 1985; Биометрия..., 2004; Щеглов, 2004). Для статистических расчётов и построения графиков использовали программу Microsoft Excel 2007, регрессионный анализ осуществляли с помощью программы SPSS 15.0.

Второй этап эмпирического исследования – экспериментальный, был нацелен на изучение и моделирование влияния азотных удобрений на биологические параметры системы «растение – почва – атмосфера» в плодоносящем интенсивном яблоневом саду и поиск оптимального способа расчета доз минеральных удобрений с учетом этого влияния. Объектами экспериментального исследования были сорта яблони Лобо и Хоней крисп на карликовом подвое Парадизка Будаговского.

Изучаемые показатели (*зависимые переменные*):

- содержание азота (N) и калия (K) по слоям почвы в динамике;
- количество, масса и площадь листьев на дереве;
- диаметр штамба; биомасса осевых вегетативных органов дерева;
- урожайность и компоненты продуктивности деревьев яблони;
- доля N и K в частях яблони и их вынос с биомассой и урожаем.

Независимой переменной в опыте был уровень вносимых удобрений (аммиачной селитры). На экспериментальном участке в годы исследований (2020-2024) подкормку растений путем фертигации *не осуществляли*. Удобрения вносили монофакторно в приствольные полосы, под каждое дерево с заделкой в почву на глу-

бину 10-15 см, ежегодно, рано весной (до распускания почек), начиная с 5-го года после посадки интенсивного яблоневого сада.

Независимая переменная включала 7 уровней (варианты опыта):

- 1) *контроль* (без внесения удобрений);
- 2) N₄₅ (45 кг/га действующего вещества);
- 3) N₉₀ (90 кг/га действующего вещества);
- 4) N₁₃₅ (135 кг/га действующего вещества);
- 5) N₁₈₀ (180 кг/га действующего вещества);
- 6) N₂₂₅ (225 кг/га действующего вещества);
- 7) N₂₇₀ (270 кг/га действующего вещества).

Сбор опытных данных осуществлялся вышеописанным способом; количество учётных деревьев каждого сорта составляло 10 (по принципу: «дерево = делянка»). Модельные деревья рандомизированно располагались на протяжении участка; для исключения влияния удобрения на соседние объекты все опытные деревья чередовались с не участвующими в опыте.

Определение содержания в почве легкогидролизуемой формы азота проводили по методу И.В. Тюрина и М.М. Кононовой; подвижного фосфора и обменного калия по методу Чирикова на фотоколориметре и пламенном фотометре (Минеев, 2001). Оценку уровня содержания минеральных элементов (таблица 2.2.1) в чернозёмных почвах для яблони проводили по А.К. Кондакову (2007). Пробы почвы для изучения химического состава брали послойно, с глубин 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 и 80-100 см при помощи почвенного бура.

Таблица 2.2.1 – Оценка содержания минеральных элементов в чернозёмной почве (по А.К. Кондакову)

Оценка содержания	Содержание в почве, мг/кг почвы		
	Легкогидролизуемый азот (N)	Фосфор (P ₂ O ₅)	Калий (K ₂ O)
Очень низкое	< 50	< 20	< 40
Низкое	50-100	20-50	40-80
Среднее	100-150	50-100	80-120
Повышенное	150-200	100-150	120-180
Высокое	> 200	> 150	> 180

Определение *минерального состава* листьев, стеблей, корней и плодов проводили по методикам: общего азота в тканях растений – колориметрическим методом по П.Т. Усович и А.Т. Лебедеву (1976); калия – методом пламенной фотометрии по В.А. Розумову (Плешков, 1985; Минеев, 2001). Концентрацию азота и калия в растении измеряли в лаборатории (оборудование: аппарат Къельдаля, фотоколориметр КФК-3, пламенный фотометр Jenway PNP-7, pH-метр Piccolo HP 98111, весы лабораторные ЕК 6000i, сушильный шкаф ШСВ 27/3,5 и др.). Оптимальность химического состава листьев оценивали по А.К. Кондакову (таблица 2.2.2).

Таблица 2.2.2 – Оптимальное содержание минеральных элементов в листьях яблони (по А.К. Кондакову, 2007)

Элементы	N	K ₂ O
Среднее содержание в листьях, %	1,8-2,5	1,2-1,8
Оптимальное содержание в листьях, %	2,4	1,6

Вынос минеральных элементов из почвы отдельными органами яблони (листьями, плодами, стволами и ветвями, корнями) определяли как валовое содержание элемента в ежегодном приросте биомассы этих органов.

Суммарный ежегодный вынос элемента деревьями яблони – как сумму ежегодного выноса этого элемента отдельными органами.

Потребление минерального элемента растениями мы определяли как отношение величины суммарного ежегодного выноса к величине суммарного ежегодного прироста биомассы деревьев.

Построение формулы расчета доз минеральных удобрений основывалось на формуле базовой дозы удобрений на основе *элементного баланса*, предложенной Ю.В. Труновым (2003, 2016). Так, базовая доза, рассчитанная в целях повышения содержания в почве элемента до её оптимального значения для яблони (y_1) может быть получена по формуле:

$$y_1 = (x_0 - x_1) \times K_m, \quad (2.3.3.)$$

где: x_0 – оптимальный уровень содержания элемента в корнеобитаемом слое почвы (0-60 см), мг/кг сухой почвы;

x_1 – фактическое содержание элемента в корнеобитаемом слое почвы (0-60 см) по результатам почвенного анализа, мг/кг сухой почвы;

K_M – массовый коэффициент удобряемого слоя почвы (0-60 см), показывающий величину дозы удобрения, вносимого на 1 квадратный метр для увеличения содержания элемента на 1 мг/кг почвы (кг/м²).

Значение x_0 для исследуемых чернозёмных тяжелосуглинистых почв Липецкой области составляет: по азоту – 100 мг/кг почвы; по калию – 80 мг/кг почвы. Значение K_M рассчитывается по формуле:

$$K_M = \rho \times h, \quad (2.3.4.)$$

где: ρ – плотность удобряемой почвы (кг/м³); h – высота почвенного слоя, для которого рассчитывается дозировка удобрения (м).

Базовая доза удобрений должна повысить содержание элементов минерального питания до средних величин (таблица 2.2.1.). На основании исследования опытных данных нами были предложены дополнительные поправочные коэффициенты для формулы (2.3.3.), учитывающие потери удобрений и их вынос растениями.

Для поиска оптимального способа дозирования минеральных удобрений и мы сравнивали метод расчета базовых доз на основе элементного баланса с методом *почвенно-листовой диагностики*. Наиболее подробно этот метод описан в работах А.К. Кондакова (1981, 1999, 2001, 2002, 2007).

В соответствии с методом почвенно-листовой диагностики, в качестве отправной точки используют нормативы содержания элементов в листьях и рекомендованную дозу удобрений для конкретной почвенно-климатической зоны. На почвах ЦЧР в плодоносящих яблоневых садах А.К. Кондаков рекомендует использовать для внесения базовую дозу макроэлементов азота, фосфора и калия в соотношении 90:30:120 кг/га д.в. (N₉₀P₃₀K₁₂₀).

На основании данных, приведённых в таблицах 2.2.1. и 2.2.2., с использованием поправочных коэффициентов (таблица 2.2.3) к рекомендованной базовой дозе элементов принимают решение о необходимости и количестве внесения удобрений.

Таблица 2.2.3 – Поправочные коэффициенты к базовой дозе удобрений (по А.К. Кондакову, 2001, 2007)

Содержание в почве	Валовое содержание элементов в листьях		
	Недостаточное	Оптимальное	Избыточное
Низкое	2,0	1,0	Удобрений не требуется
Среднее	1,5	0,5	
Высокое	1,0	-	

Расчет экономической эффективности производства плодов яблони в интенсивном саду при различных уровнях питания производился на основе подбора и сравнения методов дозирования минеральных удобрений, а также прогнозирования и оценки урожайности сортов яблони в зависимости от дозы азота как основного элемента минерального питания. Данные по урожайности сортов за период 2015-2019 были получены по годовым отчётам хозяйства ЗАО «Агрофирма имени 15 лет Октября». В качестве существенного дополнительного фактора учитывалось калийное питание яблони в условиях интенсивного сада ЦЧР.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Моделирование основных биологических параметров яблони в интенсивном саду

3.1.1 Ключевые морфобиологические показатели яблони и их взаимосвязь

Из морфобиологических показателей, характеризующих растущее плодое дерево, в качестве ключевых мы рассматривали площадь фотосинтетической поверхности (листьев) и диаметр штамба, т.к. от него зависит интенсивность обмена минеральными и органическими веществами с корневой системой. В таблице 3.1.1.1 показана *динамика площади листьев* на деревьях яблони на карликовом подвое Парадизка Будаговского (В9) в интенсивном саду 2015 г. посадки за 9 лет от посадки растений.

Таблица 3.1.1.1 – Динамика площади листьев на деревьях яблони в интенсивном саду

Сорта	Площадь листьев, м ² /дер.									
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Среднее
Лобо	0,32	0,64	1,30	2,66	3,83	4,54	4,51	4,50	4,53	2,99
Альва	0,41	1,01	2,08	4,08	4,88	5,40	5,31	5,31	5,15	3,74
Беркутовское	0,34	0,67	1,48	3,20	4,31	4,63	4,57	4,57	4,35	3,12
Лигол	0,40	0,79	1,54	3,01	4,31	5,13	5,04	5,09	4,91	3,36
Спартан	0,41	0,81	1,57	3,10	4,06	5,26	5,24	5,21	5,29	3,44
Хоней крисп	0,37	0,78	1,52	3,02	3,99	4,91	4,79	4,80	4,81	3,22
Среднее	<i>0,38</i>	<i>0,79</i>	<i>1,59</i>	<i>3,18</i>	<i>4,28</i>	<i>4,98</i>	<i>4,90</i>	<i>4,91</i>	<i>4,82</i>	<i>3,31</i>
НСР ₀₅	<i>0,04</i>	<i>0,08</i>	<i>0,21</i>	<i>0,34</i>	<i>0,37</i>	<i>0,37</i>	<i>0,36</i>	<i>0,42</i>	<i>0,42</i>	<i>0,31</i>

***жирным шрифтом** выделены значения, существенно отличающиеся от средних

Наиболее высокие значения площади листьев формировались на деревьях сортов Альва и Спартан (в среднем – 3,74 и 3,43 м²/дер., соответственно), что значительно превышало средний показатель (у сорта Спартан – в отдельные годы). Площадь листьев на деревьях сорта Лобо была, наоборот, значительно ниже средней и составила 2,99 м²/дер. Такая же, хоть и менее выраженная, тенденция наблюдалась у сорта Беркутовское, суммарная площадь листьев на деревьях которого (3,12 м²/дер. в среднем) в отдельные годы значительно отставала от средней по 6 сортам. Площадь листьев на деревьях сортов Лигол и Хоней крисп значительно не отличалась от средней по всем сортам (Рисунок 3.1.1.1).

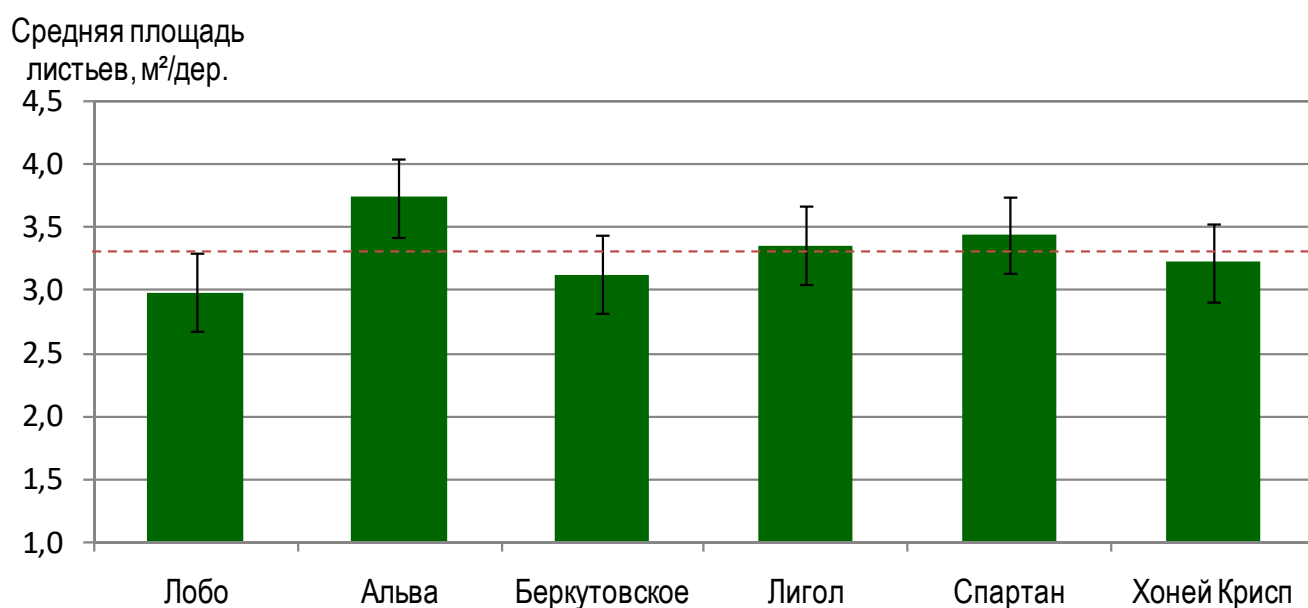


Рисунок 3.1.1.1 – Средняя площадь листьев на деревьях яблони за 9 лет после посадки в среднем по 6 сортам, м²/дер. (пунктир – мат. ожидание)

В течение первых трёх лет после посадки в экспериментальном саду наблюдалось интенсивное увеличение площади листьев на деревьях яблони в среднем от 0,38 до 3,18 м²/дер. В течение следующих 3 лет площадь листьев на деревьях яблони в среднем возрастала с 3,18 до 4,98 м²/дер., а в дальнейшем стабилизировалась примерно на уровне $4,9 \pm 0,1$ м²/дер. и составила в среднем за годы исследований 3,31 м²/дер. Максимальное возрастание площади листьев наблюдалось на 4 год после посадки.

Площадь листьев яблони (S_L) изучаемых сортов в динамике описывается логистической кривой (Рисунок 3.1.1.2):

$$S_L = \frac{K}{K \times 3,073 e^{-0,734 t} + 1}, \quad (3.1.1.1.)$$

где: K – биологический предел площади листьев, принятый за $5,2 \text{ м}^2/\text{дер.}$ на основании анализа опытных данных; t – время с момента посадки (гг.).

Исходя из биологического смысла полученных коэффициентов, расчетная начальная величина площади листьев (S_{L0}) составляла $0,306 \text{ м}^2/\text{дер.}$, логистическая характеристика роста листьев $r_L = 0,734 \text{ года}^{-1}$ (при значении этой величины, равном 1, скорость роста листьев была бы максимальной на 3-й год, а при значении 0,5 – на 6-й год). Переменная P_L (равная $3,073 \text{ дер./м}^2$ листьев) имеет биологический смысл метаболических затрат, вкладываемых деревьями на единицу площади прирастающих листьев.

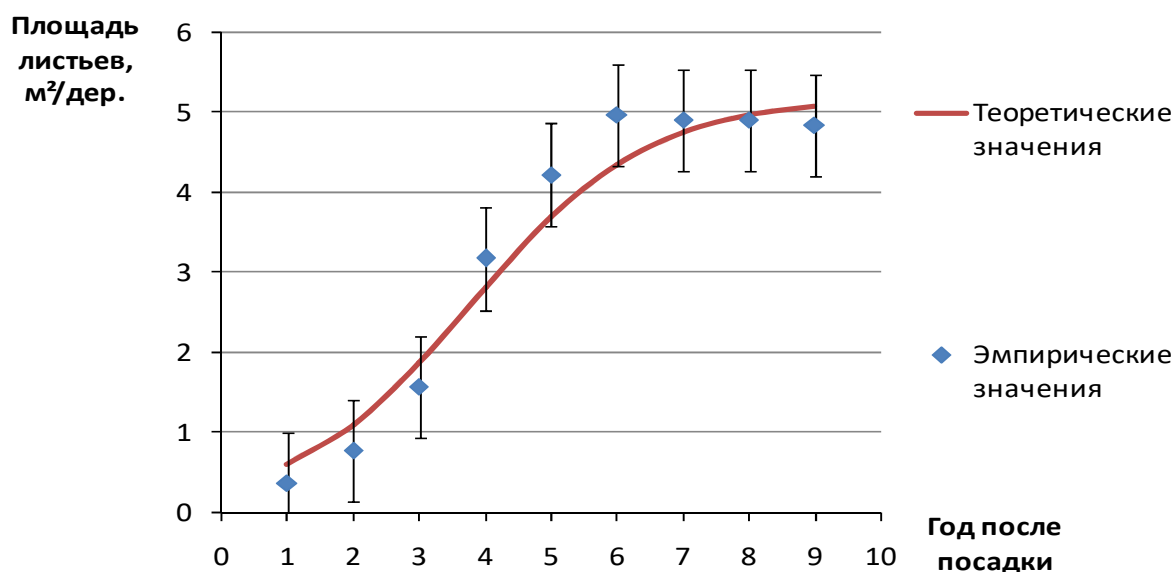


Рисунок 3.1.1.2 – Динамика площади листьев на деревьях яблони за 9 лет после посадки, в среднем по 6 сортам, $\text{м}^2/\text{дер.}$

Значение коэффициента корреляции Пирсона составило 0,93, что говорит о высокой степени связи между эмпирическими показателями площади листьев и построенной теоретической кривой (3.1.1.1.). Коэффициент детерминации $R^2 = 0,866$, таким образом, более 85% изменчивости изучаемого показателя объясняется предложенной моделью ($p < 0,001$).

Диаметр штамба в течение 9 лет исследований от года посадки деревьев яблони постепенно увеличивался, в среднем по 6 сортам с 19,3 мм до 59,9 мм. В таблице 3.1.1.2 показана динамика роста штамба деревьев яблони за 10 лет от посадки растений.

Наибольший диаметр штамба формировался у деревьев сильнорослого сорта Лигол (достигая 62,7 мм за 9 лет), причём более сильный рост штамба наблюдался у этого сорта ежегодно, начиная с года посадки, по сравнению с другими изучаемыми сортами. Превышение диаметра штамба у деревьев сорта Лигол по сравнению со средним за 9 лет составило 14,6%. В последние два года наблюдений также был отмечен рост штамба у сорта Альва (на 4,2% и 8,7% по сравнению со средним, соответственно), превышение среднего размера штамба было существенным в последний год. Скорость прироста штамба у этого сорта была максимальной (5,5 мм/год, при средней в 4,7 мм/год). У всех остальных изучаемых сортов величина диаметра штамба находилась примерно на уровне среднего, хотя яблони сорта Беркутовское проявили наименьший прирост.

Таблица 3.1.1.2 – Динамика диаметра штамба деревьев яблони в интенсивном саду

Сорта	Диаметр штамба, мм									
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Среднее
Лобо (к)	19,2	23,5	27,4	33,6	39,2	44,6	49,0	52,5	55,4	38,3
Альва	18,2	22,4	26,2	32,2	37,7	42,3	45,2	56,7	62,4	38,1
Беркутовское	18,8	22,9	26,4	32,8	38,8	43,0	48,1	50,3	51,9	37,0
Лигол	22,4	26,6	32,0	40,6	48,1	53,5	57,9	59,8	62,7	44,8
Спартан	18,6	22,0	27,2	33,4	39,0	43,9	48,7	54,1	56,3	38,1
Хоней крисп	18,8	23,2	27,6	33,8	39,4	45,5	49,3	52,8	55,4	38,4
Среднее	19,3	23,4	27,8	34,4	40,4	45,5	49,7	54,4	57,4	39,2
НСР ₀₅	1,9	2,2	2,4	2,8	3,1	3,5	3,9	4,2	4,7	2,2

***жирным шрифтом** выделены значения, существенно превышающие средние

Диаметр штамба яблони изучаемых сортов в динамике может быть удовлетворительно описан несколькими моделями регрессии. Линейная модель вида: $Ш_{\phi} = 5t + 14,16$, где: $Ш_{\phi}$ – диаметр штамба, t – время (гг), – дает 99,4% ковариации

ции (R^2) с эмпирическими данными. Это указывает на достаточную равномерность прироста, однако на концах интервала качество модели ухудшается. Модель вида: $Ш_{\varnothing} = 6t^2 - 0,1t + 12,3$ позволяет учитывать фактор обратной связи, коэффициент детерминации (R^2) для такой модели выше и составляет 99,6%. Знак перед x^2 противоположен знаку перед x , следовательно, обратная связь – отрицательная. Соотношение коэффициентов говорит о небольшой величине отрицательной обратной связи: около 0,1 мм в год за год – при росте примерно на 6 мм в год. Еще более точное предсказание позволяет сделать логистическая модель (Рисунок 3.1.1.3) вида:

$$Ш_{\varnothing} = 75,2 / (75,2 \times 0,51 e^{-0,286 t} + 1). \quad (3.1.1.2.)$$

Согласно модели (3.1.1.2.), изменение в скорости ежегодного нарастания диаметра штамба в интенсивном саду ниже, чем в скорости нарастания площади листьев (0,286 ед./год) – кривая более гладкая и близка к линейной. Ежегодные затраты метаболических ресурсов составляют 0,51 потенциала дерева на миллиметр штамба. Предсказанный средний диаметр саженцев перед посадкой – 19,1 мм. Коэффициент детерминации (R^2) для такой модели составляет 99,7% с уровнем значимости $p < 0,001$.

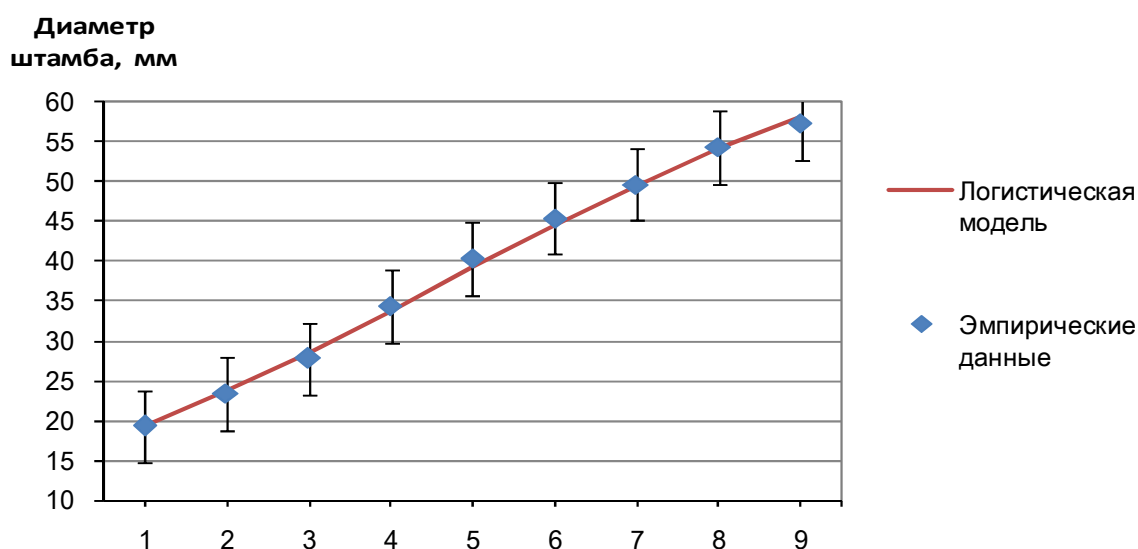


Рисунок 3.1.1.3 – Логистическая модель прироста штамба яблони за 9 лет после посадки в среднем по 6 сортам, мм.

Взаимная связь площади листьев и диаметра штамба определяется, с одной стороны, питанием для камбиальных клеток, производимым листьями, а с другой стороны, – уровнем транспорта веществ, от которого зависит фотосинтез в листьях. Здесь невозможно однозначно выделить определяющий фактор и зависимую переменную (Рисунок 3.1.1.4).

При построении квадратической модели регрессии по эмпирическим данным, где в качестве фактора рассматривается площадь листьев, связь наблюдаемых значений с теоретической кривой (R) оказывается равной 0,888 с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,789$, а модель описывает процесс с положительной обратной связью (чем больше площадь листьев, тем сильнее зависит от них рост штамба). При построении обратной модели (в качестве фактора рассматривается диаметр штамба) корреляция наблюдаемых значений с теоретической кривой (R) оказывается теснее (0,948), с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,898$. Модель описывает процесс с отрицательной обратной связью (по мере роста штамба его влияние на рост листьев уменьшается).

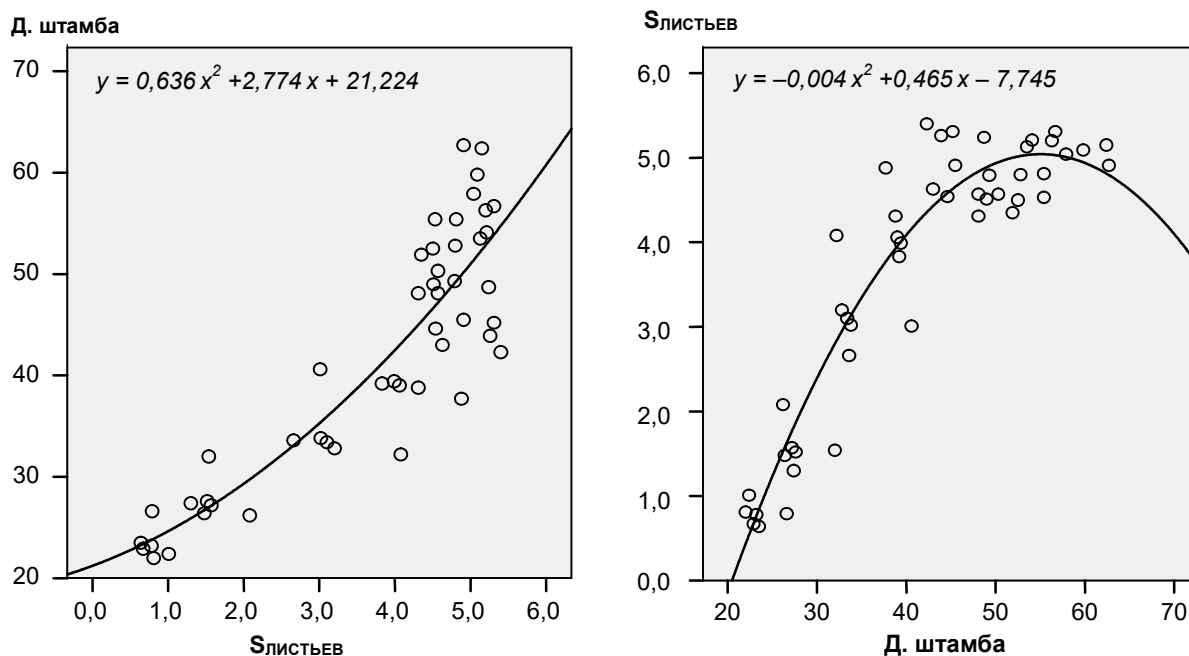


Рисунок 3.1.1.4 – Взаимосвязь диаметра штамба и площади листьев деревьев яблони, суммарно по 6 сортам за 2016-2023 гг. наблюдений.

Связь между ростом листьев (S_L) и диаметром штамба ($Ш\varnothing$) может быть также описана гиперболической моделью вида:

$$S_L = 8,22 - 171,96 / Ш\varnothing \quad (3.1.1.3.)$$

Развитие листьев ограничено в том числе поступлением воды и минеральных веществ по штамбу, и в данной модели с ростом штамба преодолевается это ограничение. Размерность коэффициента в числителе дроби – литры. Таким образом, этот показатель характеризует объем (движения веществ), дефицит которого преодолевается ростом штамба. По мере преодоления значение дальнейшего роста штамба падает.

Преобразовав выражение (3.1.1.3.), получаем выражение (3.1.1.4.):

$$S_L = 8,22 (Ш\varnothing - 20,92) / Ш\varnothing, \quad (3.1.1.4.)$$

– из которого видно, что диаметр штамба для обеспечения достаточного объема передвижения веществ должен быть $> 20,92$ мм.

Еще более тесная корреляция наблюдается между диаметром штамба и *массой* листьев (коэффициент корреляции Пирсона $R = 0,998$, коэффициент детерминации $R^2 = 0,996$, уровень значимости $p < 0,001$), описываемая уравнением регрессии вида (3.1.1.5.):

$$M_L = 0,065 \sqrt{Ш\varnothing - 23,615} \quad (3.1.1.5.)$$

где: M_L – масса листьев (в кг), $Ш\varnothing$ – диаметр штамба (в мм).

Аналогичным уравнением (3.1.1.6.) описывается связь диаметра штамба (как фактора) с массой осевых вегетативных органов деревьев яблони в интенсивном саду:

$$M_{\text{вез.}} = 1,153 \sqrt{Ш\varnothing - 22,775} \quad (3.1.1.6.)$$

Уравнение регрессии (3.1.1.6) характеризуется тесной связью расчетных и эмпирических значений – с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,902$, коэффициент

корреляции Пирсона составил 0,95, уровень значимости расчетов – $p < 0,001$. Вид кривых показан на рисунке 3.1.1.5.

Модели такого рода отражают процессы с непрерывным пропорциональным замедлением: со временем рост диаметра штамба продолжает оказывать влияние на массу листьев и корней, но количественно это влияние постепенно уменьшается. Размерность коэффициента перед корнем: $\text{кг}/\text{мм}^{1/2}$ – это откликаемость биологической системы на рост фактора (штамба), например, листья более ограничены в размере генетически, чем осевые органы, их откликаемость на порядки ниже. Свободный член под знаком радикала теоретически соответствует минимальному диаметру штамба для функционирования биологической системы в исследуемом режиме. Близкие значения минимального диаметра штамба для саженца мы получили и в других расчетах.

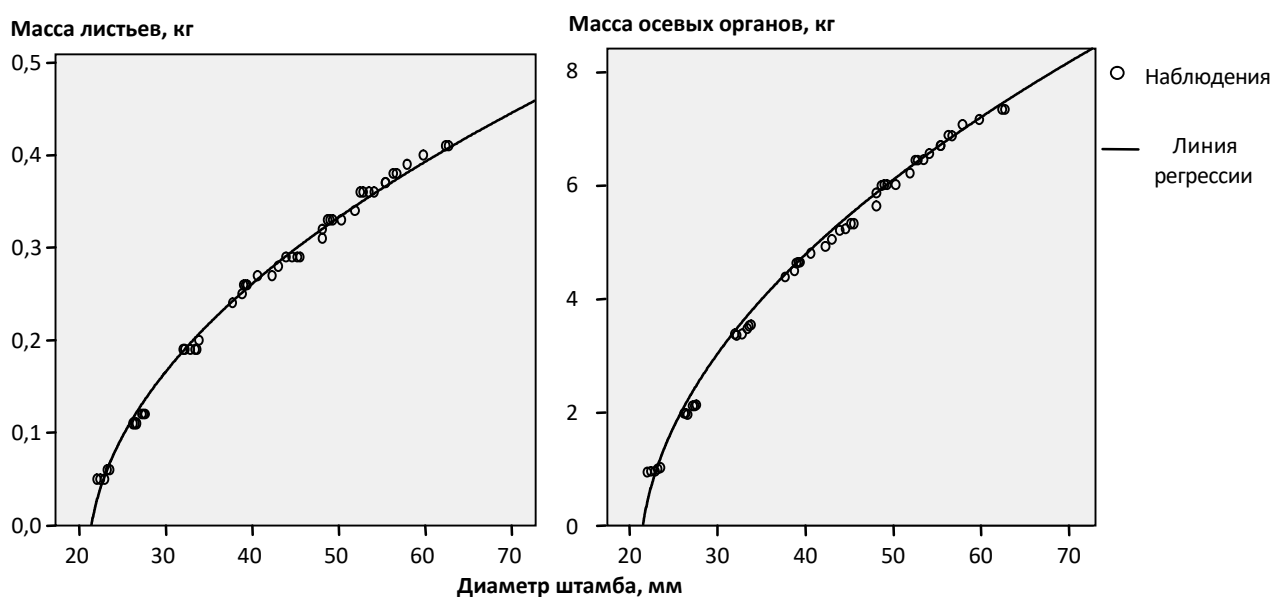


Рисунок 3.1.1.5 – Взаимосвязь диаметра штамба и массы вегетативных органов яблони, суммарно по 6 сортам за 2016-2023 гг. наблюдений.

Показатель *вегетативной биомассы* деревьев яблони на карликовом подвое складывался из массы листьев, массы стеблей (ветвей и штамба) и массы корней (Приложение 3).

В таблице 3.1.1.3 показана динамика роста вегетативной биомассы за 9 лет от посадки растений.

Таблица 3.1.1.3 – Динамика вегетативной биомассы ветвей и ствола у деревьев яблони в интенсивном саду

Сорта	Вегетативная биомасса, кг/дер.									
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Ср.
Лобо	0,69	1,02	2,11	3,52	4,65	5,24	6,02	6,45	6,71	4,05
Альва	0,60	0,96	1,98	3,36	4,39	4,93	5,33	6,88	7,35	3,98
Беркутовское	0,63	0,96	1,98	3,38	4,50	5,05	5,64	6,02	6,22	3,82
Лигол	0,87	1,96	3,38	4,81	5,87	6,46	7,08	7,17	7,35	4,99
Спартан	0,63	0,94	2,11	3,48	4,63	5,21	6,00	6,57	6,89	4,05
Хоней крисп	0,63	1,00	2,13	3,54	4,65	5,33	6,02	6,45	6,71	4,05
Среднее	0,68	1,14	2,29	3,69	4,79	5,37	6,02	6,60	6,87	4,16
НСР ₀₅	0,24	0,26	0,28	0,32	0,36	0,38	0,33	0,36	0,38	0,38

***жирным шрифтом** выделены значения, существенно превышающие средние.

В течение 9 лет исследований от года посадки вегетативная биомасса деревьев яблони постепенно увеличивалась, в среднем по 6 сортам с 0,68 кг/дер. до 6,87 кг/дер. Наибольшая биомасса формировалась у деревьев сильнорослого сорта Лигол (Рисунок 3.1.1.6).

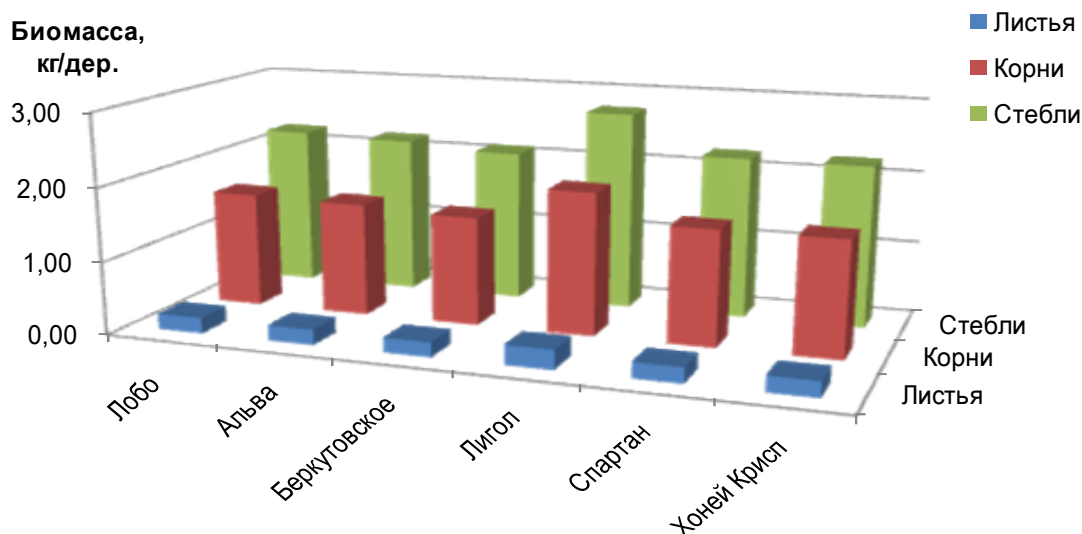


Рисунок 3.1.1.6 – Средняя биомасса деревьев яблони за 9 лет после посадки в среднем по 6 сортам, кг/дер.

Опережающий рост биомассы по сравнению с другими изучаемыми сортами наблюдался у этого сорта ежегодно, начиная с года посадки. Значимое превышение биомассы по сравнению со средним показателем за 9 лет у деревьев сорта Лигол составило 19,95%.

Логистическая модель нарастания вегетативной биомассы описывается уравнением регрессии (коэффициент корреляции Пирсона $R = 0,991$, коэффициент детерминации $R^2 = 0,982$, уровень значимости $p < 0,001$):

$$M_{\text{вег.}} = 7,55 / (7,55 \times 1,905 e^{-0,58 t} + 1), \quad (3.1.1.7.)$$

где: $M_{\text{вег.}}$ – вегетативная биомасса яблони, t – время (гг.).

Согласно модели (3.1.1.7.), изменение в скорости ежегодного нарастания биомассы в интенсивном саду составляют 0,58 ед./год. Ежегодные затраты метаболических ресурсов составляют 1,91 дер./кг роста биомассы. Расчётная масса саженца перед посадкой ~0,49 кг.

Как видно из рисунка 3.1.1.7, динамика накопления вегетативной биомассы яблони изучаемых сортов в целом сходна с динамикой роста штамба и площади листьев. Взаимосвязь данных показателей описывается уравнением регрессии – биномом 1 или 2 степени.

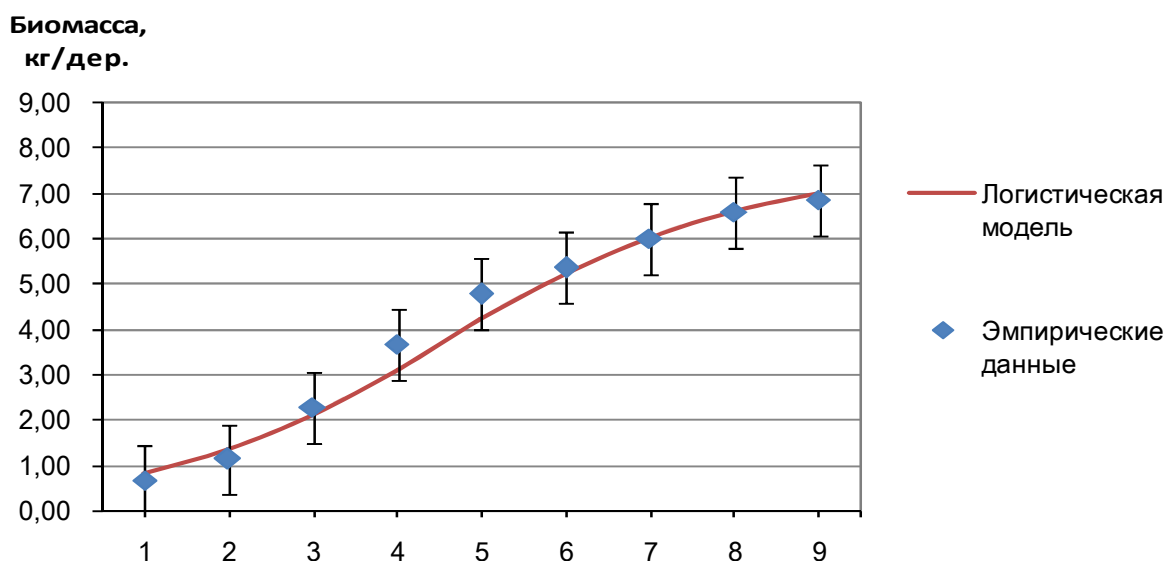


Рисунок 3.1.1.7 – Динамика суммарной вегетативной биомассы деревьев яблони за 9 лет после посадки в среднем по 6 сортам, кг/дер.

Анализ эмпирических данных показывает линейную связь (рисунок 3.1.1.8.) между площадью листьев и суммарным накоплением вегетативной массы, выраженную уравнением:

$$M_{\text{вег.}} = 1,16 S_{\text{л}} + 0,33, \quad (3.1.1.8.)$$

где $M_{\text{вег.}}$ – масса вегетативная, $S_{\text{л}}$ – площадь листьев на дереве.

Использование бинома второй степени не даёт лучшего результата по сравнению с формулой (3.1.1.8.): коэффициенты R^2 в обоих случаях равны 0,854, а параметр перед аргументом во 2 степени на порядок меньше стандартной ошибки, таким образом, обратной связью можно пренебречь.

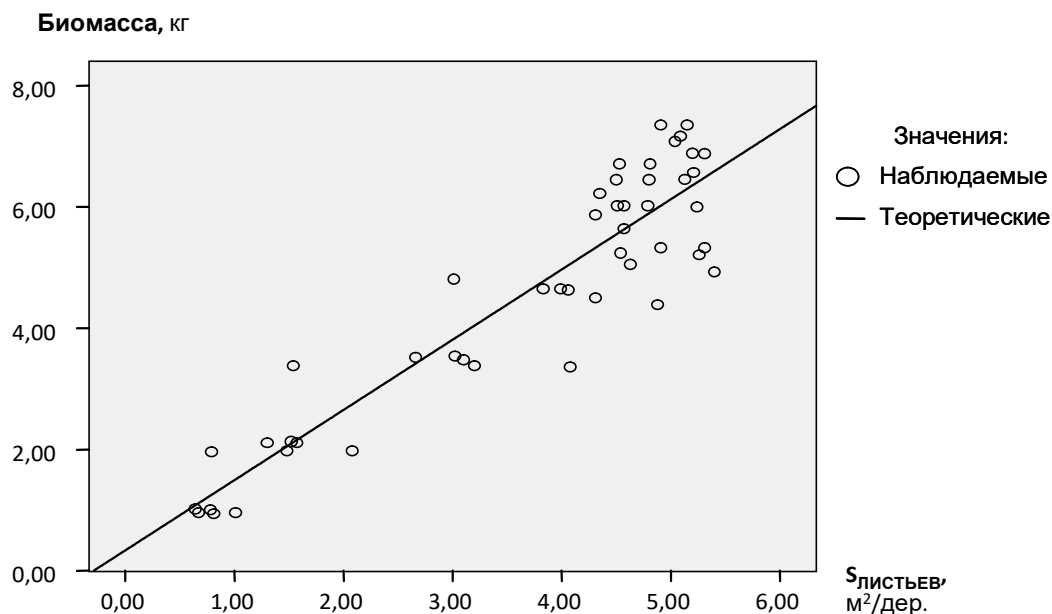


Рисунок 3.1.1.8 – Связь вегетативной биомассы деревьев яблони с площадью листьев на дереве за 2016-2023 гг. наблюдений.

Связь *прироста вегетативной биомассы* (ΔM_{veg}) осевых органов у деревьев яблони с площадью листьев (Рисунок 3.1.1.9.) выражается уравнением регрессии – биномом второй степени с уровнем значимости $p < 0,001$.

$$\Delta M_{veg} = 0,778 S_L - 0,136 S_L^2 + 0,052. \quad (3.1.1.9.)$$

Коэффициент корреляции Пирсона (R) для уравнения (3.1.1.9.) составляет 0,628, что говорит об умеренной корреляционной связи между увеличением вегетативной биомассы осевых органов яблони и площадью её листьев. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,394$, таким образом, 39,4% ежегодного прироста биомассы в яблоневом саду определяются площадью новообразованных листьев (причем, не считая самих листьев в биомассе, доля которых составляет, в среднем, 29% прироста зеленой массы). Такое поведение изучаемой биологической системы объяснимо последовательным формированием растений в интенсивном саду, нацеленным на получение стабильно высокого урожая: при достижении необходимого

уровня развития вегетативных органов энергия растений перенаправляется в плодоношение, а не в формирование зелёной массы.

Расчетная динамика суммарного прироста осевых органов яблони с возрастом (Рисунок 3.1.1.10.) выражается уравнением регрессии – биномом второй степени (с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,594$) вида:

$$\Delta M_{\text{всг.}} = 0,432 t - 0,043 t^2 + 0,311. \quad (3.1.1.10.)$$

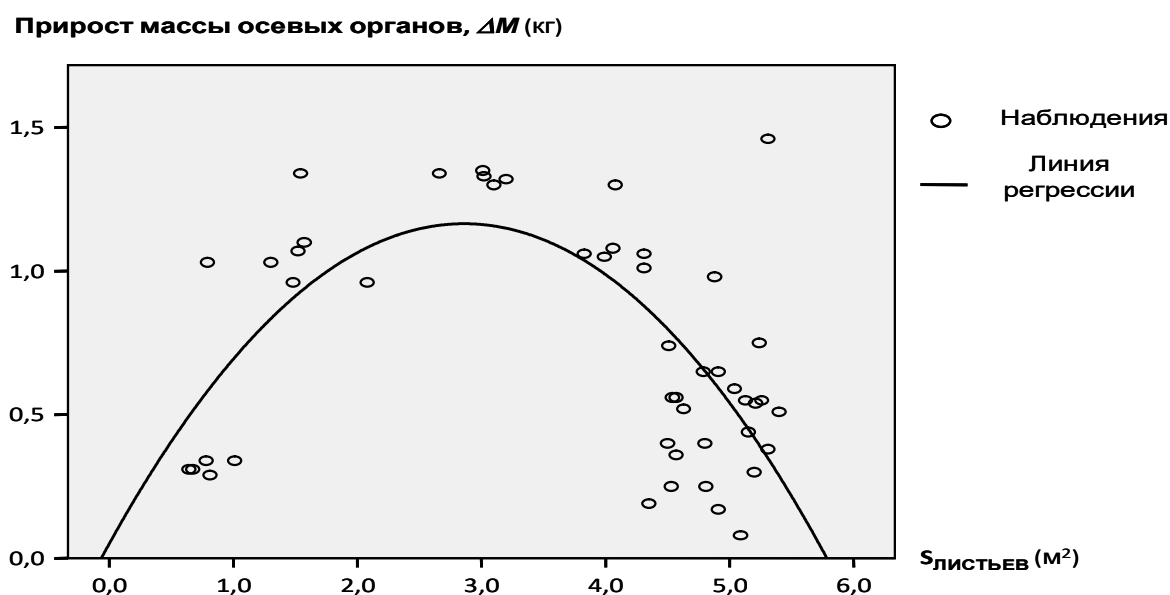


Рисунок 3.1.1.9 – Связь прироста массы осевых органов деревьев яблони и площади фотосинтезирующих листьев (2016-2023 гг. наблюдений).

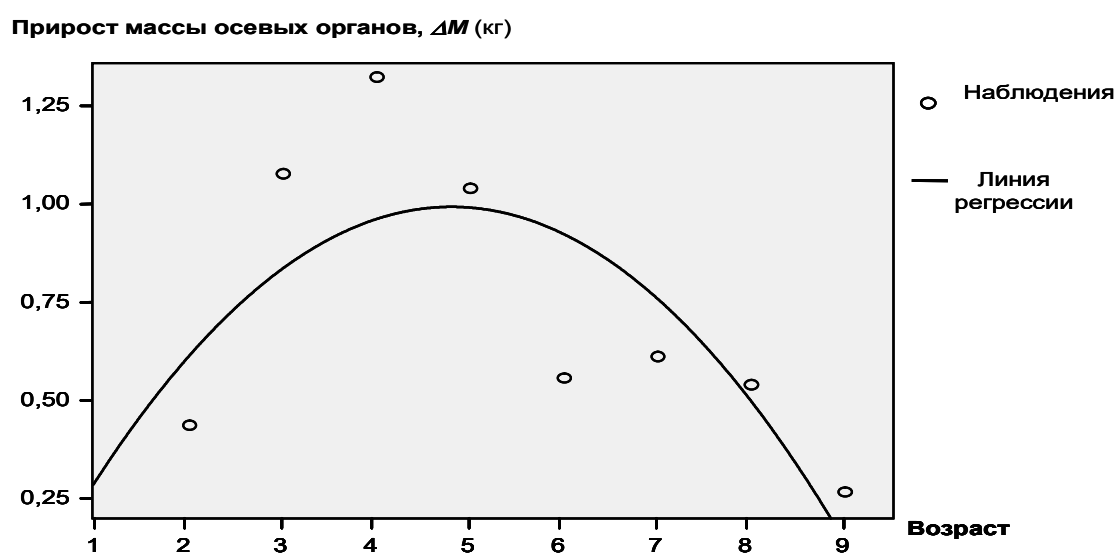


Рисунок 3.1.1.10. Связь прироста массы осевых органов деревьев яблони с возрастом (2016-2023 гг. наблюдений).

Средний уровень связи эмпирических данных с теоретической кривой указывает на присутствие других факторов, влияющих на прирост биомассы.

На рисунке 3.1.1.11. представлена динамика вегетативной продукции деревьев яблони ($\Delta M_{\text{вег.}}$) в среднем по 6 сортам в зависимости от диаметра штамба ($Ш_{\text{ш}}$).

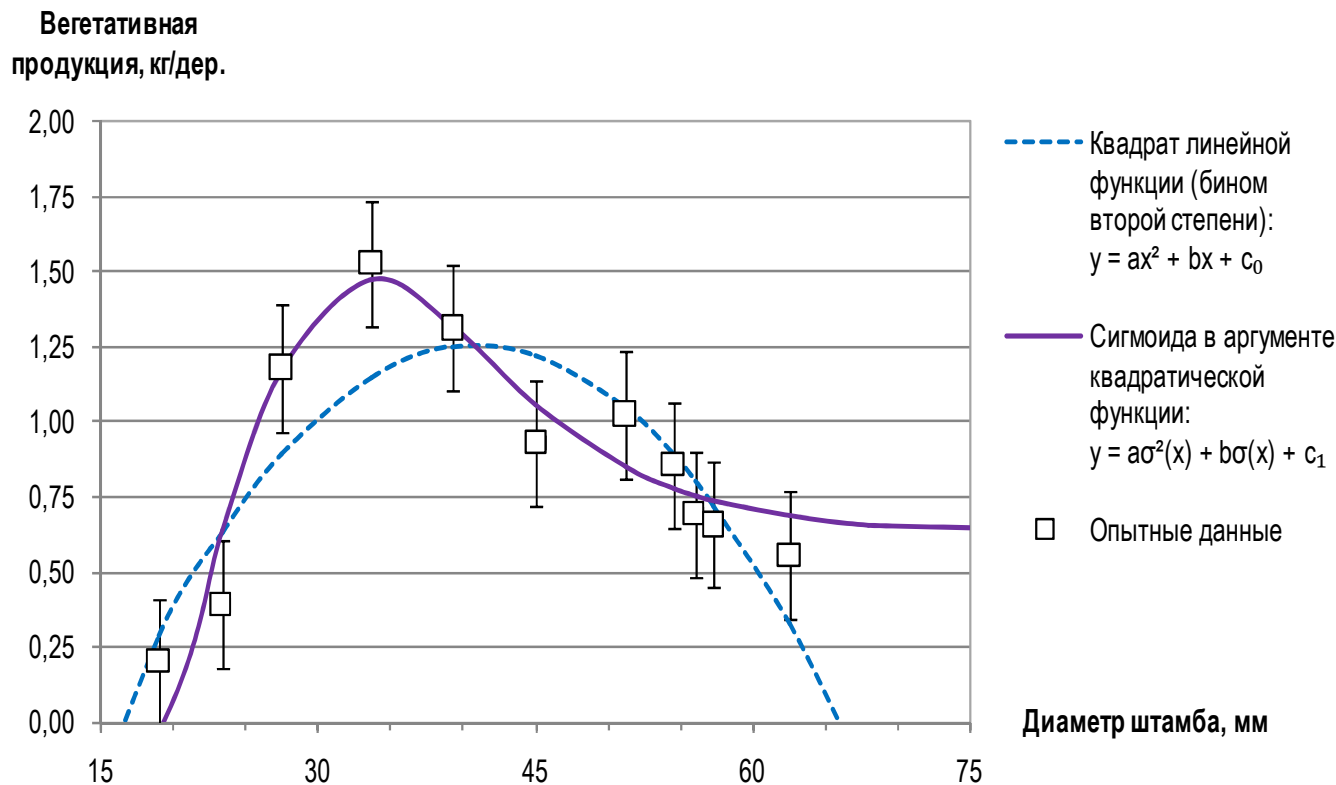


Рисунок 3.1.1.11. Связь вегетативной продукции деревьев яблони в интенсивном саду (в среднем по 6 сортам) с диаметром штамба.

Один из способов моделирования подобной эмпирической динамики – построение уравнения регрессии к биному второй степени. Применительно к нашим данным уравнение будет иметь вид:

$$\Delta M_{\text{вег.}} = 0,164 Ш_{\text{ш}} - 0,002 Ш_{\text{ш}}^2 - 2,106. \quad (3.1.1.11.)$$

Связь кривой с опытными данными составляет $> 70\%$ ($R^2 = 0,719$). Тем не менее, с точки зрения биологии, прирост биомассы не может увеличиваться до бесконечности и падать до отрицательных значений. Поэтому квадратическая модель (бином второй степени) должна быть ограничена определенным диапазоном значений аргумента, например, вложенной сигмоидной функцией.

Исходя из того, что стабилизация роста должна происходить на значениях диаметра штамба около 61-62 мм, а квазилинейный рост – в районе $30 \pm 7,5$ мм, итоговая функция имеет вид:

$$\Delta M_{\text{вег.}} = \frac{0,164 \times 61,5}{44,7e^{-(Ш\sigma / 7,5)} + 1} - \frac{0,002 \times 61,5^2}{(44,7e^{-(Ш\sigma / 7,5)} + 1)^2} - 1,888. \quad (3.1.1.12.)$$

Коэффициент детерминации модели (3.1.1.12.): $R^2 = 0,881$, коэффициент корреляции Пирсона составляет $\geq 0,938$, таким образом, предложенная функция проявляет достаточно тесную связь с эмпирическими данными. Свободный член (меньше по модулю, чем в квадратном уравнении 3.1.1.11.) уточнен методом подбора – до минимальной суммы квадратов разностей между предсказанными и эмпирическими значениями. Итоговая кривая проходит ближе к опытным значениям ($\Sigma_{\text{ОТКЛ.}}^2 = 0,200$) по сравнению с рассмотренной выше квадратической функцией ($\Sigma_{\text{ОТКЛ.}}^2 = 0,447$).

Таким образом, активное усиление роста деревьев яблони в интенсивном саду на карликовых подвоях идет до 4 летнего возраста, а затем начинает снижаться. Морфо-биологические показатели деревьев связаны друг с другом нелинейными соотношениями. При этом они могут быть использованы для прогноза биологической продукции (Трунов, Кузин, Трунов, 2025 б; Трунов и др., 2025 д-е). В частности, измерение диаметра штамба яблони позволяет прогнозировать до ~88% динамики будущего прироста её вегетативной биомассы.

3.1.2 Моделирование урожайности яблони в интенсивном саду

В таблице 3.1.2.1 показана динамика урожайности яблони на карликовом подвое Парадизка Будаговского (В9) в интенсивном саду 2015 года посадки (начало плодоношения – с первого года после посадки) за 9 лет плодоношения (данные по урожайности сортов за период 2015-2019 получены по годовым отчётам хозяйства ЗАО «Агрофирма имени 15 лет Октября»).

Таблица 3.1.2.1 – Динамика урожайности яблони в интенсивном саду за 9 лет плодоношения

Сорта	Урожайность, т/га										
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Среднее	Разброс
Лобо (к)	1,2	3,7	9,0	15,9	25,2	28,6	18,8[↓]	16,8	52,3	19,1	± 5,4
Альва	1,2	3,5	5,4[↓]	8,9[↓]	26,5	40,5[↑]	22,8	32,5[↑]	40,0	20,1	± 15,8
Беркутовское	0,6[↓]	3,2	8,1	16,3	19,6[↓]	15,9[↓]	23,2	18,7	33,2[↓]	15,4[↓]	± 10,2
Лигол	2,6[↑]	6,2[↑]	12,0[↑]	18,5[↑]	36,6[↑]	48,5[↑]	43,0[↑]	7,6[↓]	75,6[↑]	27,8[↑]	± 24,7
Спартан	0,6[↓]	2,8[↓]	6,2[↓]	10,7[↓]	21,2	27,6	17,9[↓]	18,6	36,7[↓]	15,8[↓]	± 11,9
Хоней крисп	0,9	3,1	7,6	14,4	22,5	17,9[↓]	25,2	27,5[↑]	39,6	17,6	± 12,6
Среднее	1,2	3,8	8,1	14,1	25,3	29,8	25,2	20,3	46,2	19,3	± 14,3
НСР ₀₅	0,3	0,8	1,6	2,6	5,1	5,9	5,0	4,1	9,4	3,4	-

***жирным шрифтом** выделены значения, существенно отклоняющиеся от средних

В течение первых 5 лет после посадки в экспериментальном саду наблюдалось интенсивное увеличение урожайности деревьев яблони в среднем по 6 сортам от 1,2 до 25,3 т/га. В дальнейшем урожайность яблони стабилизировалась в интервале ~25-45 т/га (в среднем около 30 т/га); средняя урожайность по 6 сортам за весь период исследований – 19,3 ± 14,3 т/га.

Наиболее высокая средняя урожайность была у сорта Лигол (27,8 т/га), существенно выше средней (на 44,0%). Наиболее низкая урожайность была у сортов Спартан и Беркутовское (15,4 т/га и 15,8 т/га, соответственно), что существенно ниже средней (на 25,3% и 22,2%). Сорта Хоней крисп, Лобо и Альва формировали среднюю урожайность: на уровне 17,6 т/га, 19,1 т/га и 20,1 т/га, соответственно (Рисунок 3.1.2.1).

Самой стабильной урожайностью характеризовался сорт Лобо, тогда как сорт Лигол был наиболее урожайным в среднем, но наименее стабильным по урожаю: его показатели имели наибольший разброс значений, а в 2022 году были ниже среднего. У сорта Альва, при общем среднем уровне урожайности, в отдельные годы (2020, 2022) наблюдалась урожайность, значимо превышающая средние показатели за этот год.

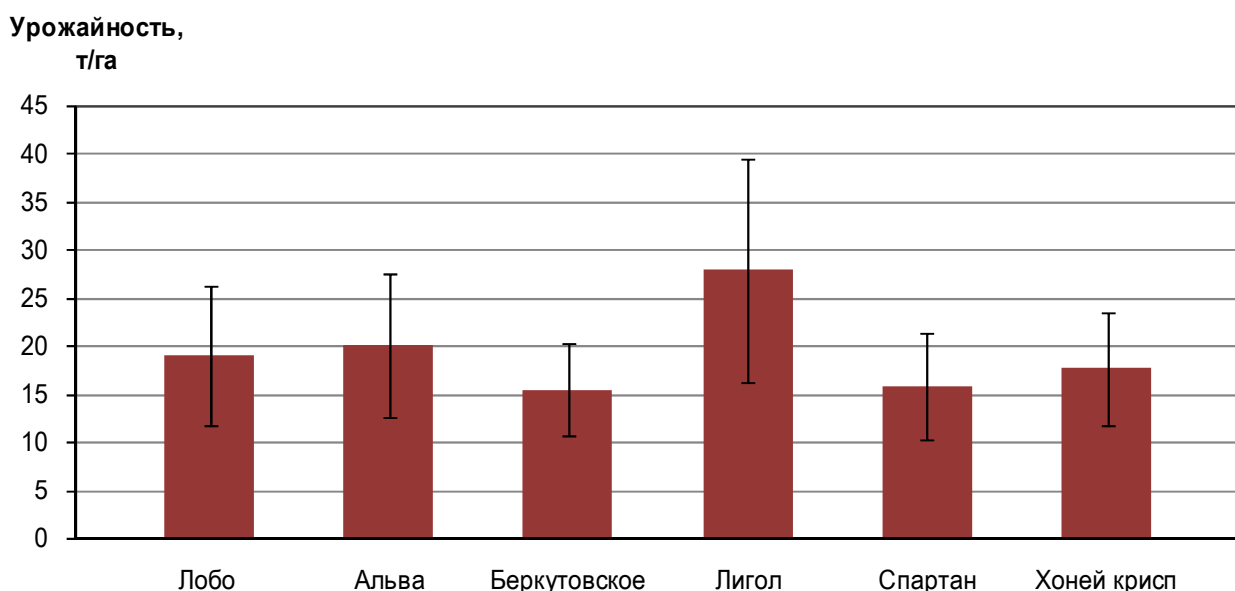


Рисунок 3.1.2.1 – Средняя урожайность сортов яблони в интенсивном саду за 9 лет плодоношения.

Урожайность как биологический показатель, согласно наблюдениям, сначала нарастает постепенно, затем – более интенсивно; однако по мере приближения к генетически заданному потенциалу растения её рост замедляется и показатель урожайности выходит на «плато». Такая динамика лучше всего моделируется при помощи логистической функции. На рисунке 3.1.2.2 представлена динамика урожайности деревьев яблони сорта Лобо.

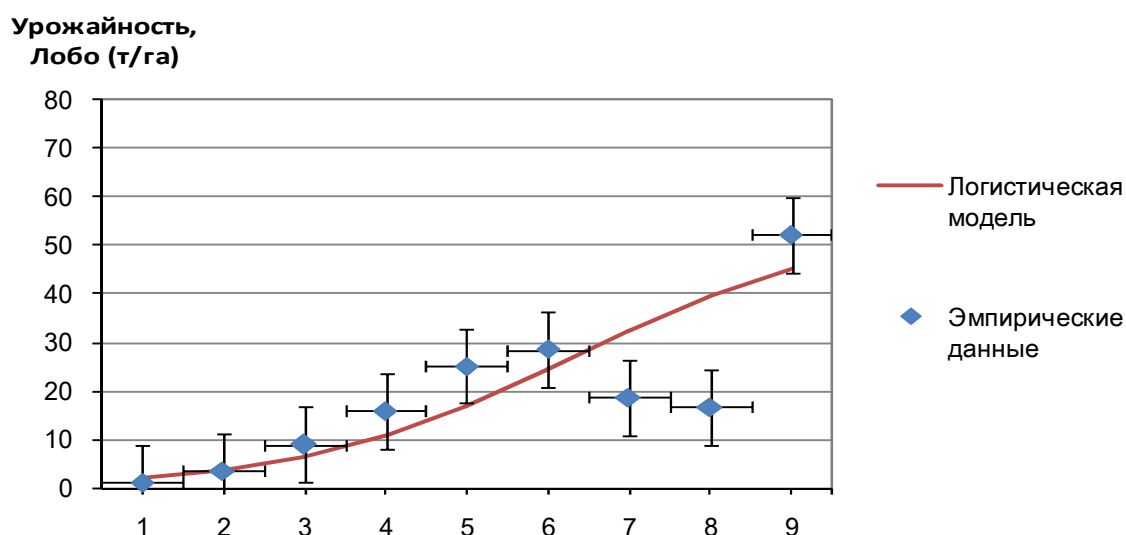


Рисунок 3.1.2.2 – Динамика урожайности деревьев яблони сорта Лобо в интенсивном саду за 9 лет плодоношения, т/га.

В опыте последовательное увеличение урожайности яблони сорта Лобо до 26,3 т/га наблюдалось с увеличением возраста деревьев от 1 до 6 лет, а затем наблюдались колебания урожайности. Динамика урожайности сорта яблони Лобо за 9 лет плодоношения выражается уравнением регрессии вида:

$$Ур_{\text{.}} = 54,93 / (54,93 \times 0,801 e^{-0,592 t} + 1), \quad (3.1.2.1)$$

где: $Ур_{\text{.}}$ – урожайность (т/га), t – время жизни (гг.).

Коэффициент корреляции Пирсона для этой модели составляет 0,926 (тесная связь), коэффициент детерминации $R^2 = 0,858$, уровень значимости – $p < 0,003$. Теоретически предсказанная максимальная величина урожайности составляет для этого сорта не более ~55 т/га.

Размерность коэффициента в знаменателе (3.1.11), равного 0,801 (P_{yp}), соответствует единицам площади на тонну урожая (преобразовав, получаем $\text{дм}^2/\text{г}$). Учитывая, что урожай формируется за счет энергии фотосинтеза, а величина коэффициента P соответствует замедлению роста, биологический смысл коэффициента можно раскрыть как величину фотосинтетической поверхности на грамм урожая, энергия которой должна быть затратчена на его прирост.

Динамика урожайности сорта яблони Альва за 9 лет плодоношения показана на рисунке 3.1.2.3.

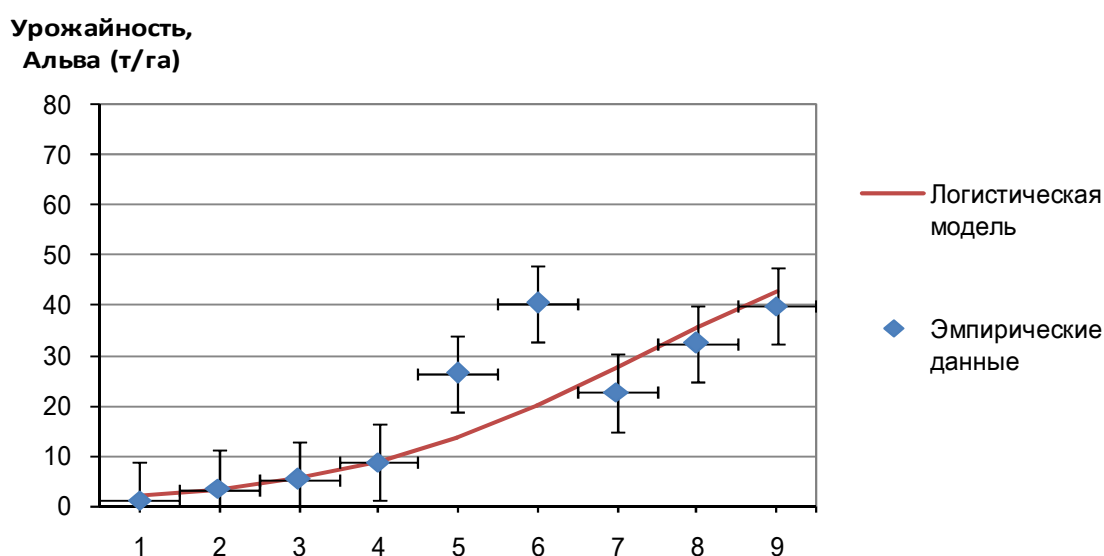


Рисунок 3.1.2.3 – Динамика урожайности деревьев яблони сорта Альва в интенсивном саду за 9 лет плодоношения, т/га.

В исследовании наблюдалось увеличение урожайности яблони сорта Альва до 40,5 т/га с увеличением возраста деревьев от 1 до 6 лет, а затем снижение и стабилизация урожайности. Теоретическая кривая урожайности сорта описывается уравнением регрессии вида:

$$Ур_{\text{т}} = 60,07 / (60,07 \times 0,762 e^{-0,524 t} + 1). \quad (3.1.2.2.)$$

Коэффициент корреляции Пирсона для модели (3.1.2.2) составляет 0,921 (тесная связь), коэффициент детерминации $R^2 = 0,848$, уровень значимости – $p < 0,001$. Биологический потенциал сорта высокий – до ~60 т/га.

Сравнивая кривые можно предполагать, что в 2019-2020 гг. действовал внешний фактор, повышавший урожайность яблони в интенсивном саду на исследованном участке, а в 2021-2022 гг., напротив, действовал фактор, снижавший урожайность. При этом яблони сорта Альва оказались более чувствительны к первому из них, а яблони сорта Лобо – ко второму. Поскольку такие факторы как освещенность, влажность, питание и наличие вредителей контролировались, очевидно, фактор имел температурную природу.

Положительным фактором в данном наблюдении выступает полученное тепло: по метеоданным (Приложение 2), в Липецкой области среднегодовая температура достигала 7,7-8,1 °С, тогда как средняя температура за 10 лет составляет 7,2 °С. *Отрицательным* температурным фактором являются морозы и заморозки, наблюдавшиеся в 2021-2022 и 2024 гг.

На рисунке 3.1.2.4. представлена динамика урожайности деревьев яблони сорта Беркутовское.

Наблюдается последовательное увеличение урожайности яблони сорта Беркутовское до 33,2 т/га с увеличением возраста деревьев от 1 до 9 лет плодоношения (с незначительными колебаниями).

Теоретическая динамика урожайности сорта яблони Беркутовское за 9 лет плодоношения выражается уравнением регрессии вида:

$$Ур_{\text{т}} = 41,01 / (41,01 \times 0,864 e^{-0,547 t} + 1). \quad (3.1.2.3.)$$

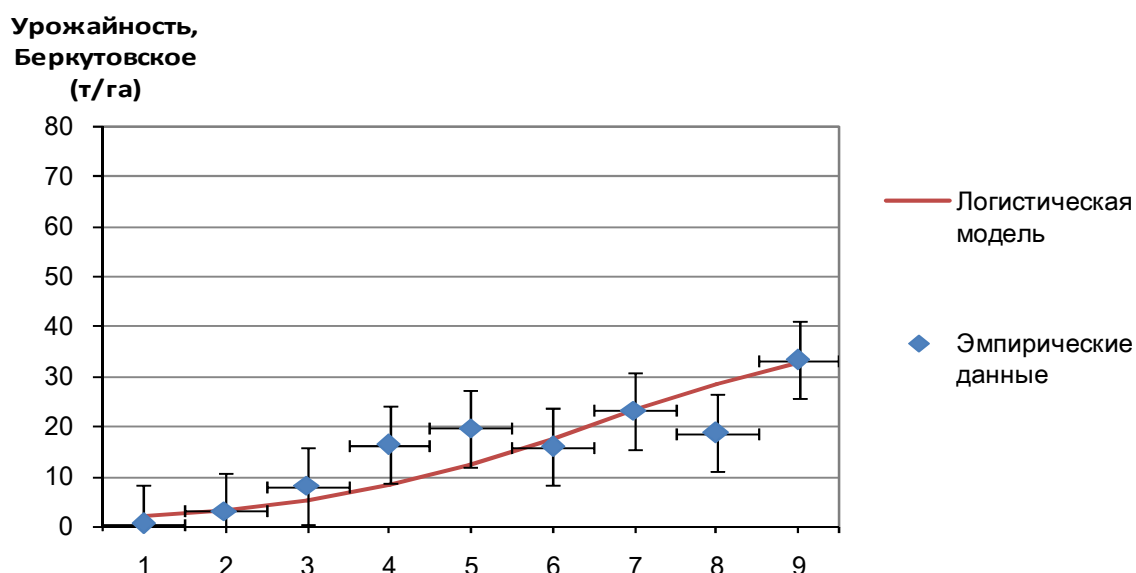


Рисунок 3.1.2.4 – Динамика урожайности деревьев яблони сорта Беркутовское в интенсивном саду за 9 лет плодоношения, т/га.

Коэффициент корреляции Пирсона составил 0,901, коэффициент детерминации $R^2 = 0,811$, уровень значимости – $p < 0,001$. Это говорит о тесной связи между эмпирическими данными и теоретической кривой в изученном интервале значений. Из уравнения (3.1.2.3) видно, что для сорта Беркутовское свойственен низкий биологический потенциал урожайности (около 41 т/га) и средние или выше средних метаболические затраты на формирование будущего урожая ($P_{ур} = 0,864$ га/т). Положительной стороной таких сортовых характеристик оказывается достаточная толерантность к температурным факторам.

Изучение динамики урожайности яблони сорта Лигол (Рисунок 3.1.2.5) в связи с возрастом деревьев показало, что наблюдалось нарастающее увеличение урожайности до 48,5 т/га с возрастом от 1 до 6 лет, а затем резкие – колебания урожайности. Это явление, вероятно, было вызвано существенными повреждениями деревьев сорта Лигол в экстремальную зиму 2021/22 гг.

Динамика урожайности сорта яблони Лигол характеризовалась в опыте прямо противоположной тенденцией. Теоретическая кривая урожайности сорта описывается уравнением регрессии вида:

$$Y_{p.} = 82,17 / (82,17 \times 0,365 e^{-0,491 t} + 1). \quad (3.1.2.4.)$$

Коэффициент корреляции Пирсона для модели составляет 0,747, коэффициент детерминации $R^2 = 0,557$, уровень значимости был равен 0,021 ($p < 0,05$). Таким образом, модель (3.1.2.4) удовлетворительно объясняет связь урожайности сорта яблони Лигол с возрастом (корреляция средней силы для данного количества степеней свободы, по Б.А. Доспехову, 1985). Однако сорт Лигол подвержен влиянию внешних факторов, значительно повышающих дисперсию опытных данных.

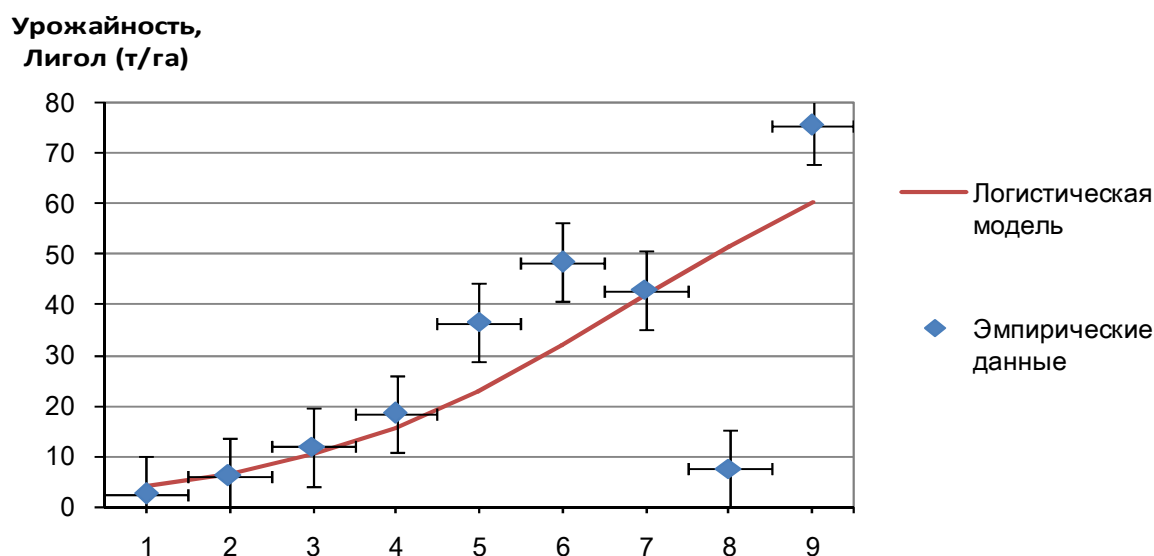


Рисунок 3.1.2.5 – Динамика урожайности деревьев яблони сорта Лигол в интенсивном саду за 9 лет плодоношения, т/га.

Лигол проявил себя как нестабильно плодоносящий сорт, в отдельные благоприятные годы дающий очень высокую урожайность (теоретическая величина ~ до 82 т/га, эмпирическая – более 75 т/га). Рассматривая параметры полученной модели, можно отметить высокий биологический потенциал урожайности и низкую величину ресурсозатрат на поддержание урожая (примерно вдвое ниже, чем для других сортов). Негативный аспект этой особенности может быть связан с чувствительностью к погоде.

На рисунке 3.1.2.6. представлена динамика урожайности деревьев яблони сорта Спартан. В опыте с увеличением возраста деревьев от 1 до 6 лет наблюдалось последовательное увеличение урожайности до 27,6 т/га, а затем наблюдались умеренные колебания урожайности.

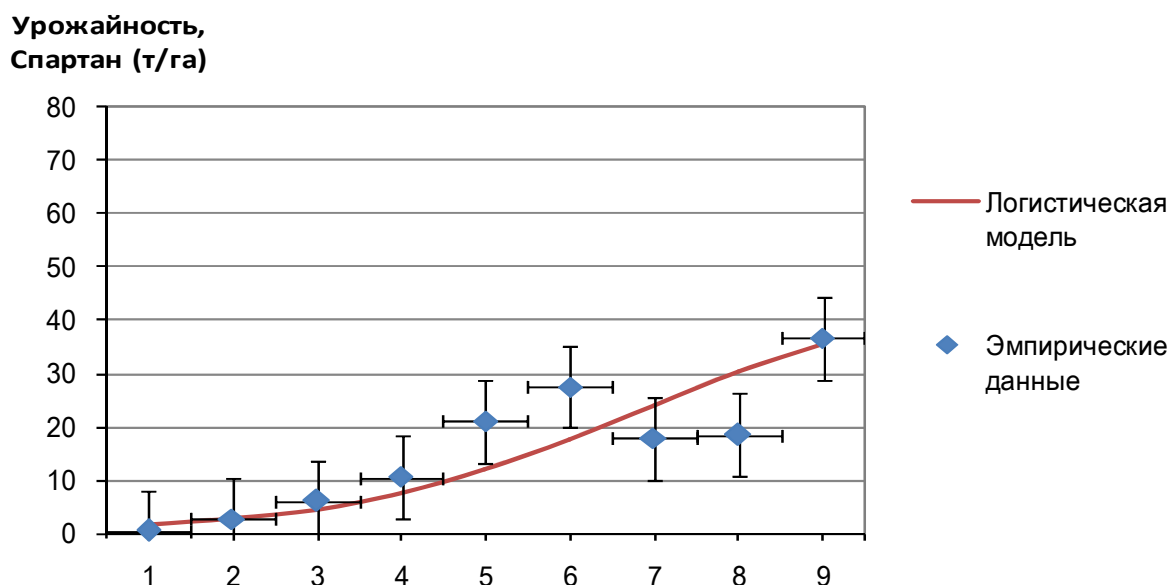


Рисунок 3.1.2.6 – Динамика урожайности деревьев яблони сорта Спартан в интенсивном саду за 9 лет плодоношения, т/га.

Теоретическая динамика урожайности сорта яблони Спартан за 9 лет плодоношения выражается уравнением регрессии вида:

$$Y_{p.} = 45,51 / (45,51 \times 1,074 e^{-0,575 t} + 1). \quad (3.1.2.5.)$$

Коэффициент корреляции Пирсона для уравнения (3.15) составил 0,906, коэффициент детерминации $R^2 = 0,821$. Это говорит о достаточно тесной связи между эмпирическими данными и теоретической кривой в изученном интервале значений (уровень значимости $p < 0,001$).

Для сорта Спартан свойственны особенно большие среди изученных сортов биологические затраты на формирование урожая ($P_{yp} > 1$ га/т) при низком общем потенциале урожайности (около 45,5 т/га). Чувствительность сорта Спартан к температурным факторам оказывается выше, чем у сорта Беркутовское и у сорта Лобо.

Динамика урожайности сорта яблони Хоней крисп показана на рисунке 3.1.2.7. В исследовании наблюдалось последовательное увеличение этого показателя с возрастом от 1 до 5 лет, а затем небольшое снижение с тенденцией к стабилизации.

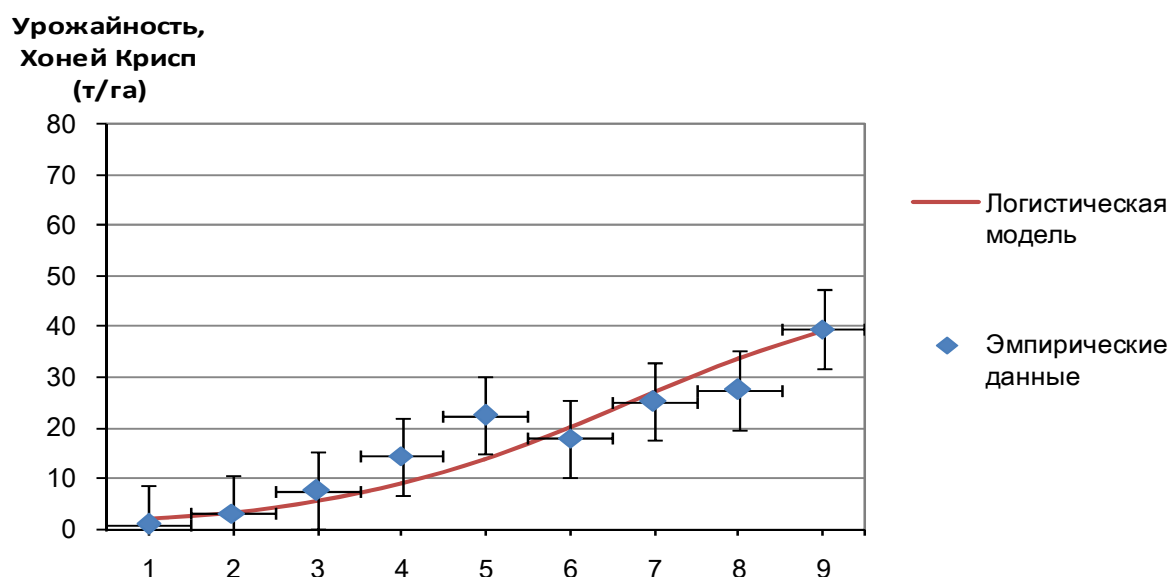


Рисунок 3.1.2.7 – Динамика урожайности деревьев яблони сорта Хоней крисп в интенсивном саду за 9 лет плодоношения, т/га.

Теоретическая кривая урожайности сорта описывается уравнением регрессии вида:

$$Y_{p.} = 50,07 / (50,07 \times 0,872 e^{-0,564 t} + 1). \quad (3.1.2.6.)$$

Коэффициент корреляции Пирсона для модели (3.1.16) составляет 0,95 (тесная связь), коэффициент детерминации $R^2 = 0,903$, уровень значимости – $p < 0,001$. Для сорта Хоней крисп свойственен средний биологический потенциал урожайности (около 50 т/га) и выше средних метаболические затраты на формирование будущего урожая ($P_{yp} = 0,872$ га/т).

Эмпирические показатели урожайности сорта заметно отклонялись от расчетных только в ответ на положительные погодные условия (2019 г.), тогда как заморозки влияли слабее. За 9 лет плодоношения урожайность яблони сорта Хоней крисп достигла 39,6 т/га. Таким образом, Хоней крисп проявил себя как наиболее стабильно плодоносящий сорт.

На рисунке 3.1.2.8 представлена динамика урожайности деревьев яблони, изученная в среднем по 6 сортам в интенсивном саду за 9 лет плодоношения (Трунов и др., 2024; Трунов, Трунов, Загиров, 2024).

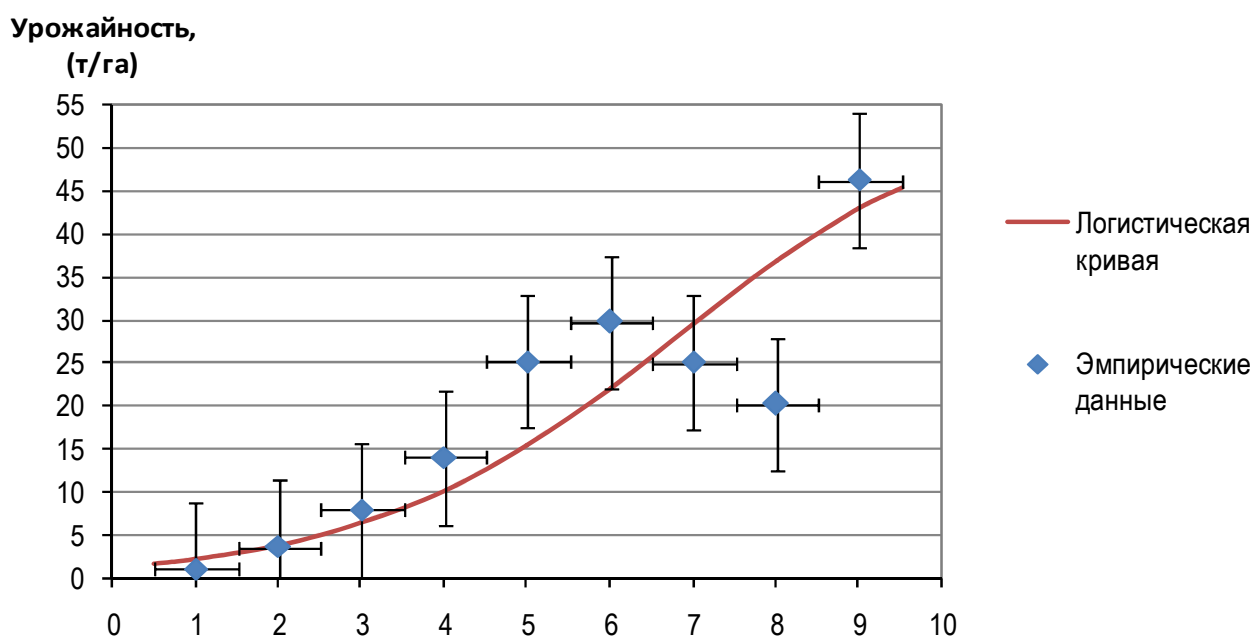


Рисунок 3.1.2.8 – Динамика средней урожайности деревьев яблони за период наблюдений, т/га.

С увеличением возраста деревьев наблюдается последовательное увеличение средней урожайности до 46,2 т/га с «провалами» в 2021-2022 гг. Теоретическая кривая урожайности описывается уравнением регрессии вида:

$$Ур_{\text{т}} = 55,88 / (55,88 \times 0,872 e^{-0,536 t} + 1). \quad (3.1.2.7.)$$

Коэффициент ковариации (R^2) для полученной кривой с эмпирическими данными по средней урожайности составляет 0,741; по отношению к отдельным сортам теоретическая кривая демонстрирует связь на уровне 0,684-0,950 (от умеренной до тесной). Наибольшими отличиями характеризуется динамика сорта Лигол (46,8% детерминации), наибольшей предсказуемостью – динамика сорта Хоней крисп (90,2% детерминации).

Таким образом, урожайность деревьев в зависимости от их возраста описывается логистической кривой с прогнозируемым плато на уровне $\sim 56 \pm 14$ т/га и при этом зависит от сортовых особенностей. Поскольку форма кривой одинакова для всех сортов, продукцию каждого можно рассчитать с помощью линейного уравнения регрессии (Рисунок 3.1.2.9).

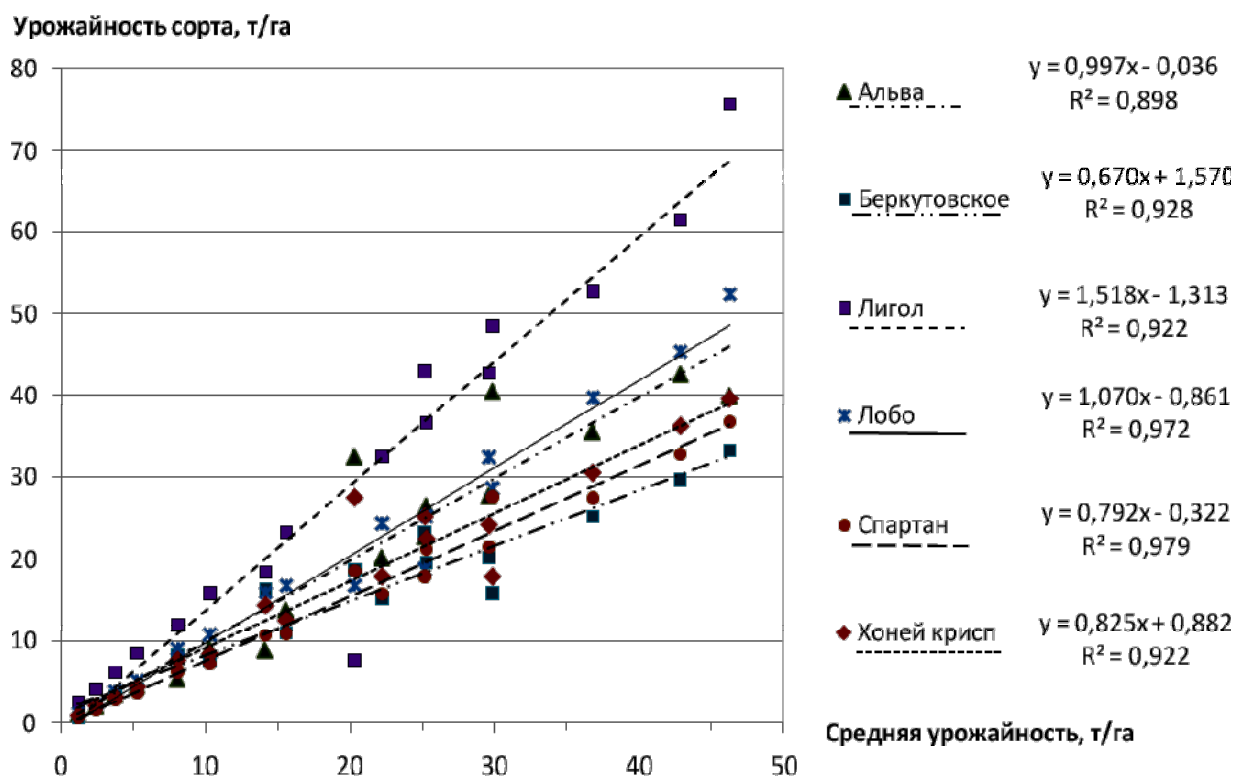


Рисунок 3.1.2.9 – Урожайность сортов яблони на карликовых подвоях в интенсивном саду в соотношении с прогнозом средней.

На рисунке 3.1.2.10 представлена динамика продуктивности деревьев яблони в среднем по 6 сортам в зависимости от диаметра штамба.

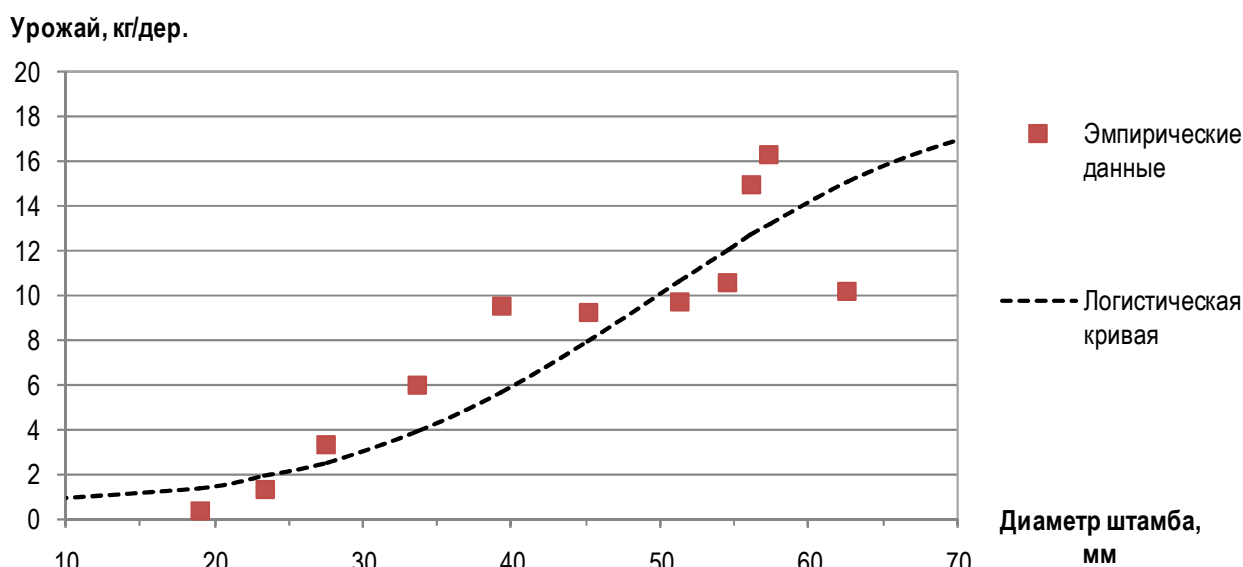


Рисунок 3.1.2.10 – Связь продуктивности деревьев яблони в интенсивном саду (в среднем по 6 сортам) с диаметром штамба.

С увеличением среднего диаметра штамба наблюдается увеличение средней массы плодов на дереве до 15-17 кг. Динамика биомассы плодов на графике подвержена колебаниям, т.к. на распределение величин изучаемого фактора оказал влияние возраст деревьев (все – одного года посадки) и, как следствие, погодный фактор по годам, полностью исключить который не удастся.

Уравнение регрессии, описывающее теоретическую зависимость продукции плодов от диаметра штамба ($Ш_0$), имеет вид:

$$M_{yp.} = \frac{19,55}{95,79e^{-0,092 \cdot Ш_0} + 1}. \quad (3.1.2.8.)$$

Это логистическая кривая с нижним ограничением в 0,35 и верхним ограничением в 19,2. Связь кривой с опытными данными составляет $> 77\%$ ($R^2 = 0,774$). Форма кривой близка к теоретической зависимости урожайности от возраста растений и тесно коррелирует с ним же (коэффициент корреляции Пирсона $R = 0,990$). Таким образом, измерение диаметра штамба яблони позволяет прогнозировать не менее $\frac{3}{4}$ динамики будущего урожая.

3.2 Экспериментальное исследование влияния азотных удобрений в системе «растение-почва-атмосфера»

3.2.1 Динамика содержания минеральных элементов в почве интенсивного яблоневого сада

Содержание азота в почве приствольной полосы интенсивного яблоневого сада с 2020 по 2024 гг. представлено в приложении 4. В таблице 3.2.1.1 показаны результаты послойного анализа почвы контрольного участка – без внесения азотных удобрений. Наиболее заметное снижение выявлено в пахотном слое 0-20 см

(со 128,1 до 115,7 мг/кг почвы, на 9,7%), что объясняется как интенсивным поглощением азота корнями растений, так и миграцией азота в нижележащие слои и в атмосферу.

Таблица 3.2.1.1 – Содержание азота в почве приствольной полосы интенсивного яблоневого сада без внесения удобрений

Слои почвы, см	Азот, мг/кг почвы					
	Исходное содержание	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
0-20	128,1	126,9	124,7	121,8	119,5	115,7
21-40	125,2	123,4	120,6	118,1	115,3	112,5
41-60	119,0	116,7	115,3	113,9	111,5	110,2
61-80	114,2	112,3	111,6	111,1	110,4	109,6
81-100	110,2	109,8	109,4	108,7	108,4	108,3
<i>Среднее</i>	<i>119,3</i>	<i>117,8</i>	<i>116,3</i>	<i>114,7</i>	<i>113,0</i>	<i>111,3</i>

За 5 лет исследований отмечена тенденция к снижению содержания легкогидролизуемого азота в корнеобитаемом слое почвы (до 60 см). Концентрация легкогидролизуемого азота в нем снижалась за годы исследований со 124,1 мг/кг до 112,8 мг/кг (на 9,1%), что объясняется интенсивным поглощением азота корнями растений с восполнением за счёт миграции азота из пахотного горизонта. На рисунке 3.2.1.1 показана динамика содержания легкогидролизуемого азота в метровом слое почвы без внесения удобрений.

Концентрация легкогидролизуемого азота в более глубоком слое почвы (от 60 до 100 см) снижалась за годы исследований в меньшей степени (со 112,2 мг/кг до 109,4 мг/кг (на 2,5%)), что объясняется меньшей насыщенностью этого слоя корнями яблони, а значит и меньшим его потреблением.

В среднем, в метровом слое почвы за 5 лет содержание легкогидролизуемого азота снижалось на 6,7% (примерно со 119 до 111 мг/кг), что говорит о деградации уровня этого важнейшего эдафического фактора при интенсивной эксплуатации почвы в интенсивном яблоневом саду на фоне его невосполнения. В среднем, потери азота из корнеобитаемого слоя составляли ~2,7 мг/кг в год, из более глубокого слоя ~0,3 мг/кг в год.

Динамика содержания легкогидролизуемого азота в корнеобитаемом слое (0-60 см) по годам представлена на рисунке 3.2.1.2.

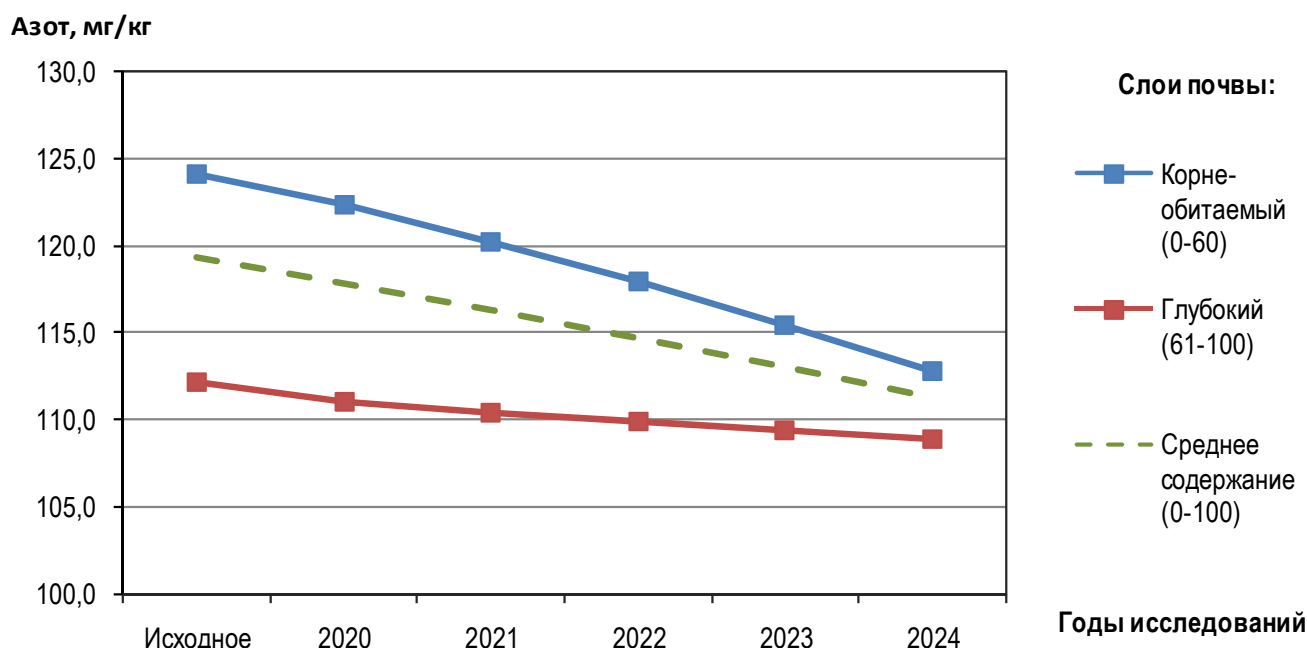


Рисунок 3.2.1.1 – Динамика содержания азота в почве приствольной полосы интенсивного яблоневого сада без внесения удобрений.

При внесении азотных удобрений в дозе 45 кг/га д.в. заметных изменений в содержании почвенного азота не отмечалось (в то же время в контроле уровень азота неуклонно снижался). Это объясняется, с одной стороны, интенсивным поглощением азота корнями растений, с другой стороны, постоянным поступлением элемента из пахотного слоя почвы.

При внесении удобрений, начиная с дозы 90 кг/га д.в. наблюдалась тенденция к увеличению доли легкогидролизуемого азота в почве в течение 5 лет исследований, начиная с верхних слоев, к нижним (Рисунки 3.2.1.2–3.2.1.3). Наиболее заметное повышение было выявлено в пахотном слое, куда и поступали внесённые удобрения: от 14,2% (90 кг/га д.в.) до 51,4% (270 кг/га д.в.).

В процессе ассимиляции почвой большая часть удобрений мигрировали в нижележащие слои почвы, в её корнеобитаемый слой. Концентрация легкогидролизуемого азота в корнеобитаемом слое почвы (до 60 см) повышалась на опытном участке при внесении аммиачной селитры от 90 до 360 кг/га д.в. При внесении азотных удобрений в дозе 90 кг/га д.в. повышение концентрации со-

ставляло на 10,0% от начальной; при внесении 135 кг/га д.в. – на 17,5%; при внесении 180 кг/га д.в. – на 24,3%; при внесении 225 кг/га д.в. – на 30,4%; при внесении 270 кг/га д.в. – на 36,6% от начальной.

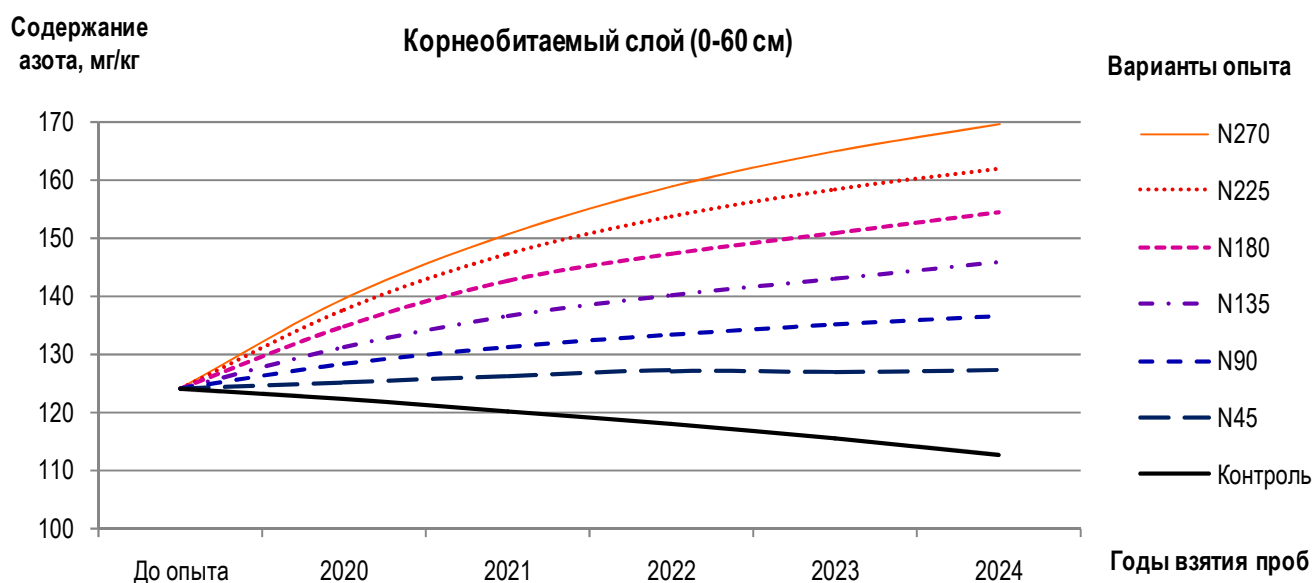


Рисунок 3.2.1.2 – Динамика содержания азота в корнеобитаемых слоях почвы приствольной полосы (0-60 см) интенсивного яблоневого сада при различном уровне внесения удобрений.

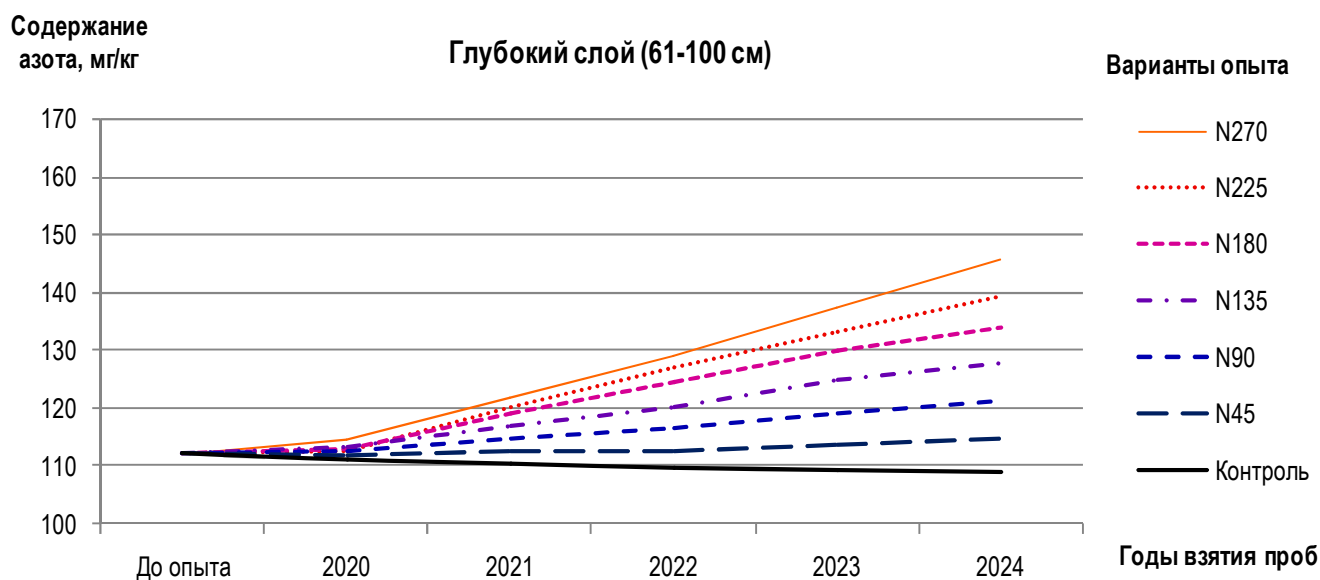


Рисунок 3.2.1.3 – Динамика содержания азота в глубоких слоях почвы приствольной полосы (60-100 см) интенсивного яблоневого сада при различном уровне внесения удобрений.

Концентрация азота в более глубоком слое почвы (от 60 до 100 см) за годы также повышалась (на 8,7%-27,8%), причем этот процесс начинался с задержкой, а затем усиливался (Рисунок 3.2.1.3.). Данный эффект объясняется отложенной миграцией элемента в нижележащие слои почвы с меньшей насыщенностью корнями яблони, а значит и меньшим его потреблением и большим накоплением.

В таблице 3.2.1.2 отражено среднее содержание легкогидролизуемого азота в метровом слое почвы. В среднем за 5 лет в результате ежегодного внесения азотных удобрений оно выросло на величину от 2,9 до 40,7, что говорит о накоплении от 2,4% до 34,1% азота, зависимости от дозы удобрений.

Таблица 3.2.1.2 – Динамика содержания азота в метровом слое почвы приствольной полосы интенсивного яблоневого сада (мг/кг) при различном уровне внесения удобрений

Вариант \ Год	До опыта	2020	2021	2022	2023	2024
Контроль	119,3	117,8	116,3	114,7	113,0	111,3
N ₄₅	119,3	119,9	120,8	121,4	121,8	122,2
N ₉₀	119,3	122,1	124,7	126,7	128,7	130,5
N ₁₃₅	119,3	124,0	128,6	132,3	135,7	138,6
N ₁₈₀	119,3	126,1	133,1	138,1	142,5	146,2
N ₂₂₅	119,3	127,8	136,4	143,1	148,4	152,8
N ₂₇₀	119,3	129,6	139,1	146,9	153,8	160,0

Динамика содержания легкогидролизуемого азота в метровом слое почвы интенсивного яблоневого сада за 5 лет исследований описывается полиномами второй степени в качестве уравнений регрессии, которые представлены в таблице 3.2.1.3. Расчетные показатели имеют значимость на уровне $p < 0,001$.

Из таблицы 3.2.1.3. видно, что с увеличением дозы вносимых удобрений растет величина параметра "b" перед членом уравнения в первой степени, характеризующая линейный компонент роста моделируемого показателя. Свободный член в уравнениях практически постоянен и отражает ожидаемый начальный уровень легкогидролизуемого азота в соответствующем слое почвы, – в среднем получается величина, близкая к эмпирической.

Таблица 3.2.1.3 – Изменение содержания легкогидролизуемого азота (мг/кг) в метровом слое почвы с течением времени (t, гг.), при разном уровне внесения азотных удобрений (кг/га д.в.).

Варианты опыта		Уравнение регрессии:	Коэф. детерминации
Корнеобитаемые слои почвы (0-60 см)	Контроль	$-0,100 t^2 - 1,771 t + 124,129$	$R^2 > 0,999$
	N ₄₅	$-0,168 t^2 + 1,468 t + 124,036$	$R^2 = 0,992$
	N ₉₀	$-0,339 t^2 + 4,114 t + 124,293$	$R^2 = 0,997$
	N ₁₃₅	$-0,552 t^2 + 6,962 t + 124,404$	$R^2 = 0,997$
	N ₁₈₀	$-0,927 t^2 + 10,443 t + 124,639$	$R^2 = 0,996$
	N ₂₂₅	$-1,263 t^2 + 13,653 t + 124,625$	$R^2 = 0,998$
	N ₂₇₀	$-1,321 t^2 + 15,487 t + 124,629$	$R^2 = 0,999$
Глубокие слои почвы (61-100 см)	Контроль	$0,070 t^2 - 0,968 t + 112,132$	$R^2 = 0,996$
	N ₄₅	$0,136 t^2 - 0,156 t + 112,129$	$R^2 = 0,972$
	N ₉₀	$0,187 t^2 + 1,017 t + 111,939$	$R^2 = 0,994$
	N ₁₃₅	$0,225 t^2 + 2,215 t + 111,650$	$R^2 = 0,989$
	N ₁₈₀	$0,264 t^2 + 3,453 t + 111,129$	$R^2 = 0,984$
	N ₂₂₅	$0,398 t^2 + 3,846 t + 110,918$	$R^2 = 0,985$
	N ₂₇₀	$0,602 t^2 + 3,937 t + 111,425$	$R^2 = 0,996$

Величина параметра "a", стоящего перед членом уравнения во второй степени, проявляет себя по-разному, в зависимости от слоя почвы. В корнеобитаемом слое этот параметр имеет отрицательные значения и определяет выпуклость кривой вверх, т.е. наличие замедления в росте моделируемого показателя. В качестве фактора отрицательной обратной связи здесь выступает, с одной стороны, миграция растворимой фракции элемента в нижележащие слои, а с другой стороны, стимуляция организмов, усваивающих излишки азота, в том числе, и самих растений яблони.

В глубоких слоях почвы данный параметр характеризует, наоборот, ускорение в накоплении азота (выпуклость кривой вниз), имея положительные значения, растущие с дозой вносимых удобрений. В связи с этими особенностями, несмотря на более низкую линейную скорость накопления азота в глубоких слоях почвы, в условиях непрерывно вносимых избыточных доз удобрения градиент содержания азота по слоям почвы постепенно снижается, в перспективе меняя экологический облик почвенного профиля.

Здесь важно отметить, что несмотря на тесную связь построенных моделей с эмпирическими показателями, границы их применимости ограничены небольшим сроком эксперимента (5 лет). На более долгих промежутках времени требуется строить модели, не допускающие нулевых и отрицательных значений функции – с опорой на логистическую модель. Например, используя наш эмпирический максимум азота (160 мг/кг) и 0 в качестве минимума, можно построить следующую модель ($R^2 > 0,999$):

$$\omega_N = 160 / (0,3408 e^{0,0497 t} + 1). \quad (3.2.1.)$$

Такие ограниченные модели можно рассматривать как частный случай вложенной функции (" $y = f_1(f_2(x))$ "), в которой $f_2(x)$ представляет собой квазилинейную часть сигмоиды, заменяющую собой аргумент в пределах, где закономерность f_1 актуальна, и останавливающуюся в росте за ее пределами. На графике (Рисунок 3.2.1.4) виден квазилинейный отрезок кривой, который вполне описывается биномом первой степени.

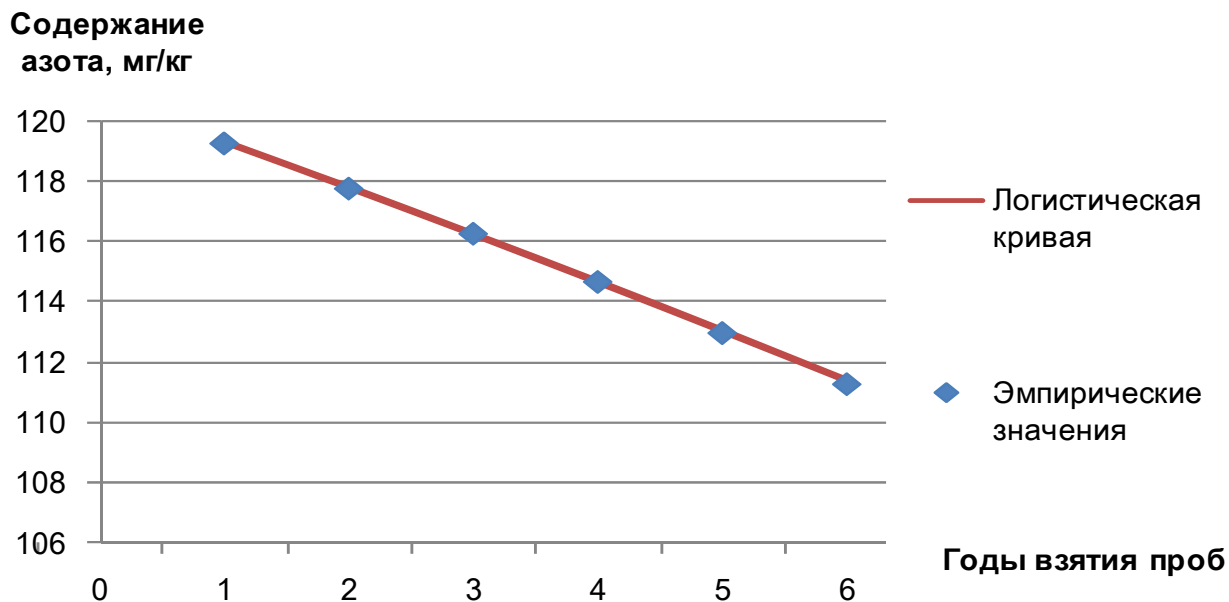


Рисунок 3.2.1.4 – Логистическая модель падения содержания азота в почве интенсивного яблоневого сада без внесения удобрений.

В контексте исследования анализ данных по содержанию элементов в почве необходим для определения их потерь или накопления.

Накопление элемента (либо его потери) соответствует разности между исходным его количеством и количеством, сохранившимся в почве через промежуток времени. Если перейти к безразмерной величине, то потери отражают уменьшение доли элемента в почве (ω_3 , мг/кг). Так, на контрольном участке ежегодно терялось 2,26 мг/кг легкогидролизуемого азота. Такие потери можно назвать постоянными, и они не зависят от факта внесения удобрений в почву.

При внесении в почву аммиачной селитры с 2020 по 2024 гг. в ее пахотный слой поступало с удобрениями на 1 м² ежегодно по: 4,5 г., 9 г., 13,5 г., 18 г., 22,5 г. и 27 г. (в соответствии с уровнями независимой переменной). Учитывая плотность почв (1250 кг/м³), расчетная доля поступающего азота составляла: 3,6, 7,2, 10,8, 14,4, 18,0, и 21,6 мг/кг почвы, соответственно. В исследуемой почве градиент распределения азота характеризуется содержанием его 62%-64% в корнеобитаемом слое. При сохранении элемента в полном объеме (без постоянных потерь) за 5 лет ожидаемое накопление азота составило бы от 14,3 до 85,7 мг/кг на опытном участке. Если вычесть постоянные потери, то доля накопленного азота составила бы от 5,2% до 76,6%.

Фактическое же накопление максимально достигало величины в 36,6%. Если рассматривать метровый слой почвы, то расчетное накопление азота с учетом постоянных потерь (1,62 мг/кг) должно было составить от 8,3% до 83,4%, что также больше фактического. Это объясняется стимулирующим влиянием самого азота на поглотительную активность почвенной биоты. Исходя из такого влияния, целесообразно рассмотреть понятие *индуцированных потерь*, отражающего разницу между линейно прогнозируемым и фактическим накоплением элемента, связанную с усилением его поглощения, либо с изменением градиента его концентрации.

На рисунке 3.2.1.5 отражена связь прироста азота в корнеобитаемых слоях почвы исследованного сада с уровнем внесения минерального азота. Из графика видно, что уровень накопления элемента непрерывно повышается с ростом дозы, но это повышение не является линейным.

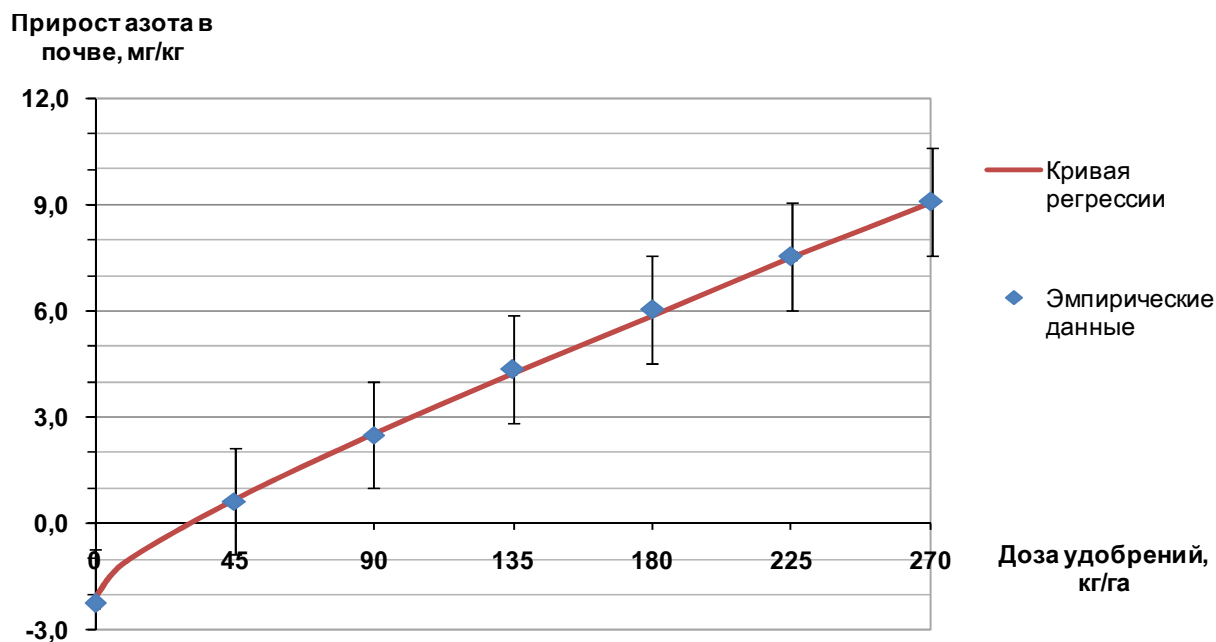


Рисунок 3.2.1.5 – Динамика прироста азота в корнеобитаемых слоях почвы приствольной полосы (0-60 см) интенсивного яблоневого сада при различном уровне внесения азотных удобрений (кг/га д.в.).

Модельная динамика азота (потери и накопление) в корнеобитаемом слое почвы интенсивного яблоневого сада в зависимости от вносимой дозы азотных удобрений описывается уравнением регрессии вида:

$$\Delta\omega_N = 0,028x_N + 0,215\sqrt{x_N} - 2,055, \quad (3.2.2.)$$

где: $\Delta\omega_N$ – среднегодовое изменение доли азота в почве (мг/кг), x_N – доза вносимых удобрений (кг/га).

Формула (3.2.2.) представляет собой комбинацию линейного уравнения и уравнения степени S , с коэффициентами детерминации 0,988 и 0,976 и суммами квадратов отклонений 1,117 и 5,495, соответственно ($p < 0,001$). Обобщенное уравнение имеет коэффициент детерминации $R^2 > 0,999$ и сумму квадратов отклонений $\Sigma_{OTKL}^2 < 0,1$. Таким образом, оно лучше описывает опытные данные.

Свободный член уравнения соответствует постоянной потере азота в исследуемой почве. Коэффициент перед аргументом ($10^{-6} \times \text{га/кг}$) имеет размерность, по сути, обратную размерности массового коэффициента K_M (плотности почвы, помноженной на глубину). Соотношение коэффициентов возле аргумента в степени 1

и аргумента в степени $\frac{1}{2}$ отражает влияние индуцированных потерь. Если говорить об использовании азота удобрений, то ежегодно в среднем в почве 2,26 мг/кг уходило на компенсацию постоянных потерь в корнеобитаемом слое (1,8%), а из оставшегося – сохранялось в среднем 49,8% в год (отношение прироста азота за вычетом постоянных потерь к добавленной его части), – примерно половина соответствовала индуцированным потерям.

Общие постоянные потери составляли 2,26 мг/кг (1,82% в год), при этом в корнеобитаемом слое они легко компенсировались даже минимальной дозой азотных удобрений, вносимых в почву исследуемого участка (45 кг/га д.в.). Для компенсации же индуцированных потерь азота в корнеобитаемом слое почвы дозу азотных удобрений требуется увеличить в 2,01 раза.

Содержание калия в почве приствольной полосы интенсивного яблоневого сада без внесения калийных удобрений показано в таблице 3.2.1.4.

Таблица 3.2.1.4 – Содержание калия (мг/кг) в почве приствольной полосы интенсивного яблоневого сада без внесения удобрений по годам

Слой почвы, см	Калий, мг/кг почвы					
	До опыта	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
0-20	88,4	86,1	84,3	83,2	81,6	80,4
21-40	72,1	70,8	68,9	67,7	66,1	64,7
41-60	59,4	58,3	56,7	55,3	53,9	52,9
61-80	50,2	49,7	48,7	47,6	46,6	44,6
81-101	44,1	43,0	42,0	41,6	40,7	39,6
<i>Среднее</i>	<i>62,8</i>	<i>61,6</i>	<i>60,1</i>	<i>59,1</i>	<i>57,8</i>	<i>56,4</i>

За 5 лет исследований отмечена тенденция к снижению содержания обменного калия в корнеобитаемом слое почвы. Наиболее заметное снижение выявлено в пахотном слое почвы (с 88,4 до 80,4 мг/кг) и нижележащем корнеобитаемом слое (с 65,8 до 58,8 мг/кг), что объясняется как поглощением калия корнями растений, так и его активным перемещением в нижележащие слои.

Концентрация обменного калия в более глубоком слое почвы (Рисунок 3.2.1.6) также снижалась за годы исследований с 47,2 до 42,1 мг/кг (на 10,8%), что

объясняется высокой подвижностью калия. В среднем в метровом слое почвы за 5 лет содержание калия снизилось с 62,8 до 56,4 мг/кг (на 10,2%), что говорит о деградации уровня этого эдафического фактора при интенсивной эксплуатации почвы на фоне его невосполнения.

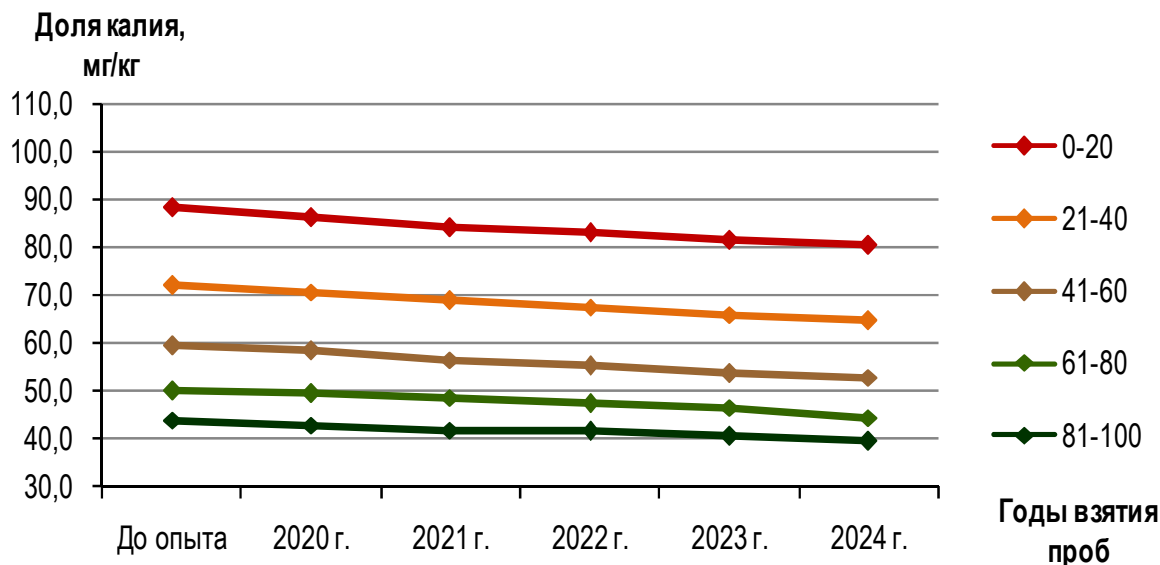


Рисунок 3.2.1.6 – Содержание калия в слоях почвы пристволенной полосы интенсивного яблоневого сада без внесения удобрений.

Динамика среднего содержания обменного калия (ω_K) в корнеобитаемом слое почвы интенсивного яблоневого сада за 5 лет исследований близка к линейной и описывается уравнением регрессии вида:

$$\omega_K = -1,47 t + 74,62. \quad (3.2.3.)$$

Значение коэффициента корреляции Пирсона для уравнения (3.2.3.) составило 0,999. Это говорит о сильной связи между содержанием обменного калия и временем его использования растениями яблони на фоне отсутствия внесения калийных удобрений. Использование бинома второй степени не дает лучшей модели: в обоих случаях $R^2 = 0,998$, величина коэффициента "a" близка к нулю, а остальные параметры близки к соответствующим параметрам линейной модели. Расчетные постоянные потери калия из корнеобитаемого слоя составляют 1,46 мг/кг. Несмотря на высокую объяснительную эффективность линейной модели (3.2.3.), снижение обменного калия в реальных условиях не может продолжаться до бесконечности,

поэтому на более длительных промежутках наблюдения более адекватна модель обратной зависимости.

По имеющимся данным удовлетворительные ($R^2 = 0,888$) результаты дает уравнение с дробной степенью (3.2.4.):

$$\omega_K = \frac{10}{\sqrt{t}} + 63,5. \quad (3.2.4.)$$

Здесь биологический смысл коэффициента в числителе соответствует резерву обменного калия, а свободный член отражает минимум элемента, который должен сохраниться в почве со временем.

На рисунке 3.2.1.7 показана динамика содержания обменного калия в метровом слое почвы без внесения калийных удобрений в соответствии с моделями (3.2.3.) и (3.2.4.).

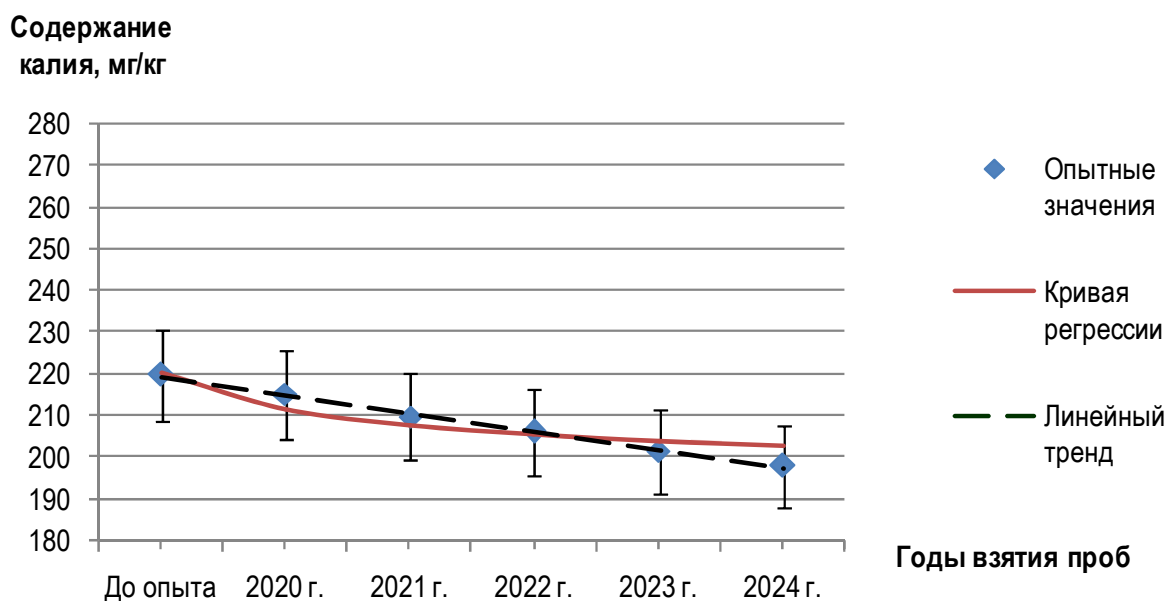


Рисунок 3.2.1.7 – Динамика среднего содержания калия в корнеобитаемом слое почвы приствольной полосы интенсивного яблоневого сада без внесения удобрений по годам.

Для изучения накопления калия в почве интенсивного сада и сравнения с контрольным участком мы рассматривали участок почвы, куда вносились стандартные дозы калийных удобрений, используемые в хозяйстве ЗАО «Агрофирма имени 15 лет Октября». Дозировка калия составляла 120 кг/га д.в., – таким образом, уровень калия в исследовании рассматривается как дополнительная переменная.

В таблице 3.2.1.5 показана динамика содержания калия в почве пристволенной полосы интенсивного яблоневого сада при ежегодном внесении 120 кг/га д.в. калийных удобрений.

Таблица 3.2.1.5 – Содержание калия (мг/кг) в почве пристволенной полосы интенсивного яблоневого сада при внесении калийных удобрений (120 кг/га д.в.) по годам

Слои почвы, см	Калий, мг/кг почвы					
	До опыта	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
0-20	88,4	93,6	95,7	97,9	98,5	99,1
21-40	72,1	78,8	82,8	84,1	86,1	88,1
41-60	59,4	65,0	68,5	72,3	73,6	75,6
61-80	50,2	53,5	59,6	62,0	65,2	65,9
81-101	44,1	44,4	48,0	53,6	55,8	58,4
<i>Среднее</i>	<i>62,8</i>	<i>67,1</i>	<i>70,9</i>	<i>74,0</i>	<i>75,8</i>	<i>77,4</i>

При внесении в почву калийных удобрений в дозе 120 кг/га д.в. наблюдалась тенденция к увеличению содержания обменного калия в течение 5 лет исследований. Заметное повышение выявлено в пахотном слое 0-20 см, куда поступали внесённые удобрения (с 88,4 до 99,1 мг/кг почвы, ~ на 12%), но в процессе ассимиляции почвой большая часть удобрений перемещались в нижележащие слои, в её корнеобитаемый слой. Концентрация обменного калия в корнеобитаемом слое почвы (до 60 см) также повышалась за годы исследований с 66-73 до 82-87 мг/кг (на 20-24%), что объясняется интенсивным поглощением калия корнями растений.

Концентрация обменного калия в более глубоком слое почвы (от 60 до 100 см) при внесении калийных удобрений за годы исследований в первый год оставалась примерно на первоначальном уровне, а затем повышалась – с 47-49 мг/кг до 61-62 мг/кг (суммарно ~ на 32%). Первые вносимые дозы в процессе эксплуатации интенсивного яблоневого сада, по-видимому, не выходили за пределы корнеобитаемого слоя почвы. В среднем, в метровом слое почвы за 5 лет на фоне ежегодного внесения калийных удобрений в дозе 120 кг/га д.в. наблюдалось повышение содержания обменного калия с 62,8 до 77,4 мг/кг – на 23% от исходного содержания (Рисунок 3.2.1.8).

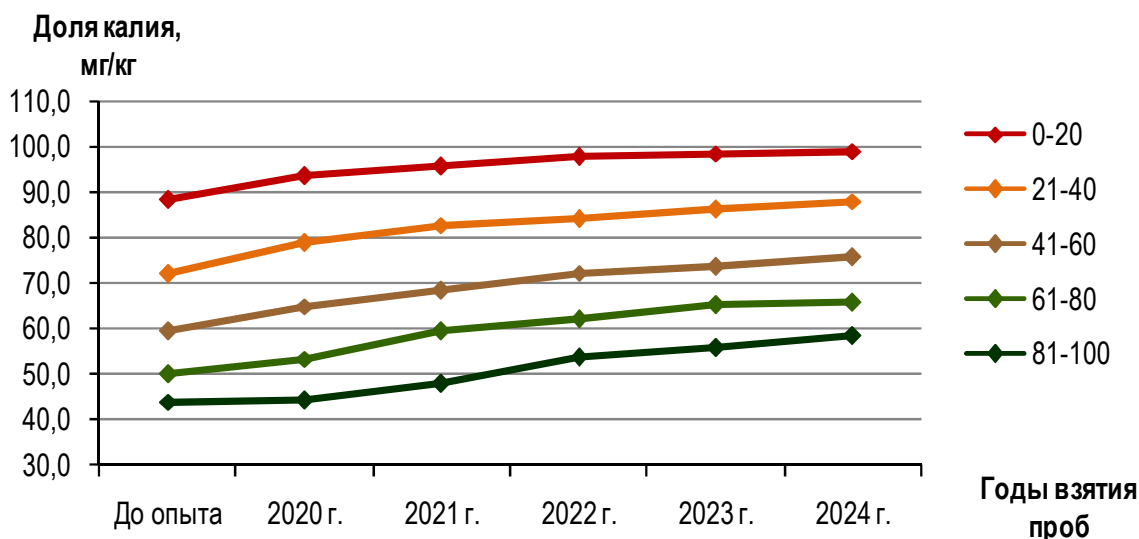


Рисунок 3.2.1.8 – Содержание калия в слоях почвы пристволевой полосы интенсивного яблоневого сада с внесением калия (120 кг/га д.в.).

Динамика содержания обменного калия в метровом слое почвы интенсивного яблоневого сада за 5 лет исследований удовлетворительно выражается линейным уравнением регрессии:

$$\omega_K = 2,71 t + 72,72. \quad (3.2.5.)$$

Коэффициент корреляции Пирсона для уравнения (3.2.5.) составляет 0,959, коэффициент детерминации $R^2 = 0,920$.

Также динамика содержания обменного калия хорошо описывается уравнением регрессии с дробной степенью:

$$\omega_K = 10,57 \sqrt{t} + 63,03. \quad (3.2.6.)$$

Коэффициент корреляции Пирсона для уравнения (3.2.6.) составляет 0,986; коэффициент детерминации $R^2 = 0,973$. Это говорит о весьма сильной связи между предсказанным содержанием обменного калия в корнеобитаемом слое почвы за время его использования и опытными данными.

Параметр, стоящий перед аргументом линейной модели (3.2.5.), выражает среднегодовое накопление калия на фоне ежегодного внесения 120 кг/га д.в. калийных удобрений (эмпирическая величина равна 8,58 мг/кг). Свободный член примерно равен исходной доле элемента в почве. Сумма коэффициентов в уравне-

нии (3.2.6.) примерно соответствует базовому уровню калия (мг/кг) и близка к соответствующей эмпирической величине.

На рисунке 3.2.1.9 показана динамика содержания обменного калия в метровом слое почвы на фоне внесения калийных удобрений в соответствии с моделями (3.2.5.) и (3.2.6.).

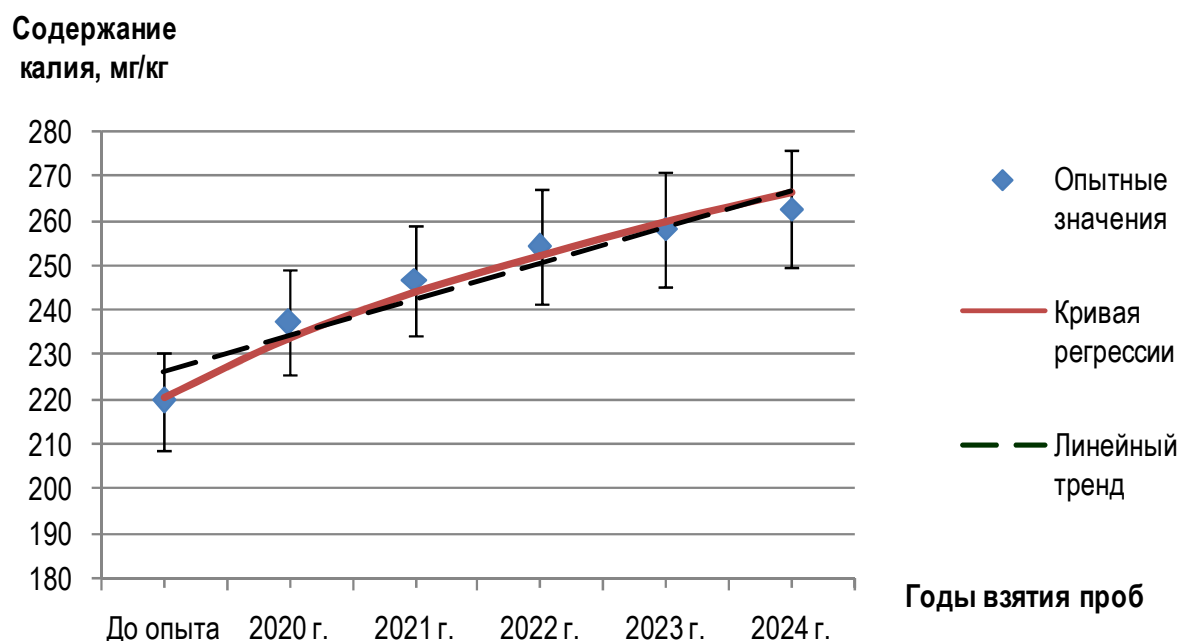


Рисунок 3.2.1.9 – Динамика среднего содержания калия в корнеобитаемом слое почвы пристволевой полосы интенсивного яблоневого сада при внесении калийных удобрений (120 кг/га д.в.) по годам.

При внесении в почву калия в дозе 120 кг/га д.в., поступающая доза элемента равна 12 г/м^2 , но распределяется она неравномерно. В течение года она остается в пределах корнеобитаемого слоя ($K_M = 7,5$) с массовой долей 16,0 мг/кг. В дальнейшем с этом слое оказывается сосредоточено в среднем 69% обменного калия. Если вычесть постоянные потери (1,3 мг/кг в год), то доля накопленного калия составляла 6,98 мг/кг в год, тогда как фактически она составляет 3,65 мг/кг в год. Ежегодно накапливающаяся доля калия в корнеобитаемом слое почвы (с учетом постоянных потерь) составляет от ожидаемой 63,3%. Это объясняется подвижностью калия в почве и его быстрым распространением в направлении градиента концентрации. Доля индуцированных потерь ниже, чем для азота, т.к. калий не стимулирует собственное поглощение растениями. Базовая доза удобрений, рассчитанная с целью

коррекции содержания в почве элемента до её оптимального значения для яблони (у) может быть получена по формуле элементного баланса (2.3.3.) – в ней нами заменены некоторые обозначения с сохранением смысла:

$$y = d\omega_{(\text{почв.})} \times K_M, \quad (3.2.7.)$$

где: $d\omega_{(\text{почв.})}$ – дефицит элемента как разница между его фактическим и оптимальным содержанием (мг/кг); K_M – массовый коэффициент (кг/м²).

Из формулы (3.2.7.) и расчёта массового коэффициента (2.3.4.) следует, что для увеличения содержания элемента в слое почвы 60 см на 1 мг/кг требуется внести $0,75 \text{ г/м}^2 = 7,5 \text{ кг/га}$ д.в. элемента.

На основании проведённых исследований, для повышения содержания минеральных элементов питания (азота и калия) в почве до оптимального уровня нами усовершенствована формула (3.2.7.) и введён новый поправочный коэффициент " q_{II} " на *потери удобрений* из корнеобитаемого слоя почвы.

Если говорить об использовании корректирующих доз удобрений, то для стабильного увеличения концентрации азота в корнеобитаемом слое почвы вносимую дозу следует увеличивать в 2,04 раза, а дозу калия в 1,58 раз. При этом постоянные потери азота в интенсивном саду составляют 1,8% его содержания в корнеобитаемом слое, калия – 2,2% его содержания в этом слое; отсюда, совокупные потери: азота – 52,0%; калия – 38,9%.

Итоговый коэффициент поправки на потери азота, $q_{II(N)} = 2,08$; на потери калия, $q_{II(K)} = 1,64$. Скорректированная формула (3.2.7.) приобретает вид:

$$y_1 = d\omega_{(\text{почв.})} \times K_M \times q_{II}, \quad (3.2.8.)$$

где: q_{II} – коэффициент компенсации потерь элемента.

Опытным путём установлено, что величина поправочного коэффициента " q_{II} " в интенсивном яблоневом саду на тяжелосуглинистых чернозёмных почвах Липецкой области составляет: для азота – 2,08; для калия – 1,64.

С учётом того, что почва экспериментального участка в ЗАО «Агрофирма имени 15 лет Октября» имела исходное содержание азота 124,1 мг/кг почвы, ка-

лия – 73,3 мг/кг в корнеобитаемом слое почвы, путем расчётов по предложенным формулам, получаем дозы удобрений, оптимизирующие содержание элементов в корнеобитаемом слое почвы:

Доза внесения азота – оптимизация не требуется.

Доза внесения калия = $6,7 \times 7,5 \times 1,64 = 82,4$ (кг/га д.в.).

Приведенные их расчеты являются частью целостной системы удобрения интенсивного сада и рассматриваются нами как предварительные – с целью создания базы для дальнейшего вычисления доз удобрений, обусловленных выносом элементов питания растениями.

3.2.2 Влияние минеральных удобрений на рост и формирование вегетативной биомассы яблони

Результаты экспериментального изучения влияния азотных удобрений на показатели яблони в интенсивном саду отражены в приложении 5. В таблице 3.2.2.1 показана площадь и биомасса листьев на деревьях яблони при внесении в почву возрастающих доз азотных удобрений.

В 2020 году, в первый год внесения в почву яблоневого сада азотных удобрений, *площадь листьев* на деревьях яблони сорта Лобо находилась в пределах 4,54-4,58 м²/дер., сорта Хоней Крисп – в пределах 4,90-4,92 м²/дер. В этом году не установлено влияния внесения азотных удобрений на площадь листьев на деревьях яблони обоих сортов. Увеличение площади листьев наблюдалось на следующий год и в последующие годы при внесении азотных удобрений. В среднем за 5 лет исследований величина площади листьев на деревьях яблони сорта Лобо по всем вариантам находилась в пределах $4,99 \pm 0,37$ м²/дер., сорта Хоней крисп – в пределах $5,54 \pm 0,54$ м²/дер.

У сорта Лобо значимое повышение площади листьев было отмечено при внесении азотных удобрений от 180 кг/га д.в., а дальнейшее повышение количества

вносимого азота не вызывало существенного роста площади листьев. У растений яблони сорта Хоней Крисп увеличение площади листьев начиналось уже при внесении азота от 90 кг/га д.в.

Таблица 3.2.2.1 – Площадь и масса листьев на деревьях яблони при внесении в почву азотных удобрений

Сорта	Варианты	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	± σ
Лобо, площадь листьев (м ² /дер.)	Контроль	4,54	4,51	4,50	4,53	4,55	4,53	± 0,02
	N ₄₅	4,54	4,74	4,77	4,79	4,80	4,73	± 0,11
	N ₉₀	4,54	5,00	5,07	5,08	5,08	4,95	± 0,23
	N ₁₃₅	4,54	5,16	5,23	5,21	5,17	5,06	± 0,29
	N ₁₈₀	4,55	5,32	5,39	5,34	5,26	5,17	± 0,35
	N ₂₂₅	4,58	5,43	5,46	5,43	5,36	5,25	± 0,38
	N ₂₇₀	4,57	5,47	5,45	5,42	5,36	5,25	± 0,38
HCP ₀₅		0,25	0,71	0,75	0,72	0,68	0,64	
Лобо, масса листьев (кг/дер.)	Контроль	0,292	0,338	0,367	0,375	0,391	0,353	± 0,039
	N ₄₅	0,294	0,354	0,391	0,397	0,415	0,370	± 0,048
	N ₉₀	0,296	0,371	0,419	0,422	0,442	0,390	± 0,059
	N ₁₃₅	0,296	0,383	0,425	0,433	0,448	0,397	± 0,061
	N ₁₈₀	0,297	0,396	0,431	0,444	0,454	0,404	± 0,064
	N ₂₂₅	0,299	0,399	0,444	0,443	0,462	0,409	± 0,066
	N ₂₇₀	0,293	0,390	0,448	0,441	0,462	0,407	± 0,069
HCP ₀₅		0,023	0,048	0,059	0,059	0,059	0,051	
Хоней Крисп, площадь листьев (м ² /дер.)	Контроль	4,91	4,79	4,80	4,81	4,86	4,83	± 0,05
	N ₄₅	4,91	5,17	5,20	5,21	5,27	5,15	± 0,14
	N ₉₀	4,91	5,62	5,68	5,69	5,76	5,53	± 0,35
	N ₁₃₅	4,90	5,78	5,84	5,87	5,94	5,67	± 0,43
	N ₁₈₀	4,90	5,95	6,01	6,06	6,13	5,81	± 0,51
	N ₂₂₅	4,92	6,08	6,19	6,15	6,22	5,91	± 0,56
	N ₂₇₀	4,91	6,08	6,15	6,14	6,23	5,90	± 0,56
HCP ₀₅		0,27	0,72	0,54	0,52	0,69	0,66	
Хоней Крисп, масса листьев (кг/дер.)	Контроль	0,292	0,336	0,367	0,386	0,402	0,357	± 0,044
	N ₄₅	0,291	0,361	0,396	0,417	0,440	0,381	± 0,058
	N ₉₀	0,291	0,391	0,431	0,453	0,486	0,410	± 0,075
	N ₁₃₅	0,290	0,403	0,442	0,467	0,500	0,420	± 0,081
	N ₁₈₀	0,290	0,416	0,454	0,482	0,515	0,431	± 0,087
	N ₂₂₅	0,292	0,421	0,467	0,495	0,511	0,437	± 0,088
	N ₂₇₀	0,297	0,421	0,460	0,492	0,513	0,437	± 0,085
HCP ₀₅		0,021	0,059	0,061	0,057	0,044	0,047	

***жирным шрифтом** выделены значения показателя, существенно превышающие значения в контрольном варианте (здесь и далее)

Повышение этой дозы в 2-3 раза вызывало примерно сходное по величине повышение площади листьев по сравнению с контролем. Существенное увеличение площади листьев на деревьях яблони по сорту Лобо отмечено на 14,1%-16,1% при внесении аммиачной селитры в дозах 180-270 кг/га д.в., по сорту Хоней крисп – на 14,5%-22,4% – при внесении аммиачной селитры 90-270 кг/га д.в.

Таким образом, значимое увеличение этого показателя по сравнению с контролем наблюдалось при внесении азотных удобрений 180 кг/га д.в. по сорту Лобо и в дозе 90 кг/га д.в. по сорту Хоней Крисп и имело явную тенденцию к повышению при росте количества вносимых удобрений в 2-3 раза, но значимые различия между эффектами от внесения 270 кг/га и 180 кг/га д.в. отсутствовали. Эффект от повышения доз удобрений был более заметным по сорту Хоней крисп.

Увеличение дозы удобрения выше минимально эффективной по каждому сорту не приводило к существенному адекватному увеличению площади листьев на деревьях, что свидетельствует о наличии нелинейной зависимости между дозой вносимых азотных удобрений и площадью листьев на деревьях яблони на карликовых подвоях.

Динамика площади листьев у деревьев яблони исследуемых сортов описывается логистическим уравнением регрессии:

$$S_{\text{л}} = K_{S_{\text{л}}} / (K_{S_{\text{л}}} \times P_{S_{\text{л}}} \times e^{-r \times x_N} + 1), \quad (3.2.2.1.)$$

где x_N – уровень азотных удобрений (НП), а K , P и r – параметры сигмоиды в применении к динамике площади листьев ($S_{\text{л}}$). Коэффициент детерминации для уравнений $\geq 0,976$, коэффициент корреляции Пирсона $\geq 0,988$, уровень значимости (здесь и далее в моделях): $p < 0,001$.

Расчетная величина $K_{S_{\text{л}}}$ отражает потенциал развития листьев и для сорта Лобо составляет $\sim 5,33$ м²/дерево, а для сорта Хоней крисп она несколько выше и равна $\sim 6,04$ м²/дерево (Рисунок 3.2.2.1). Важно отметить, что здесь эта величина не отражает возможный максимум для сорта, а является генетически обусловленной *нормой реакции* растения 6-8 лет на растущий уровень азотного питания. Откликаемость системы боковых органов на удобрение (ускорение роста) для обоих

сортов одинаковая ($r = 0,01$), а вклад (P_{Sn}) метаболических ресурсов у сорта Хоней крисп выше на 13,9%, – возможно это связано с его большей толерантностью к погодным условиям.

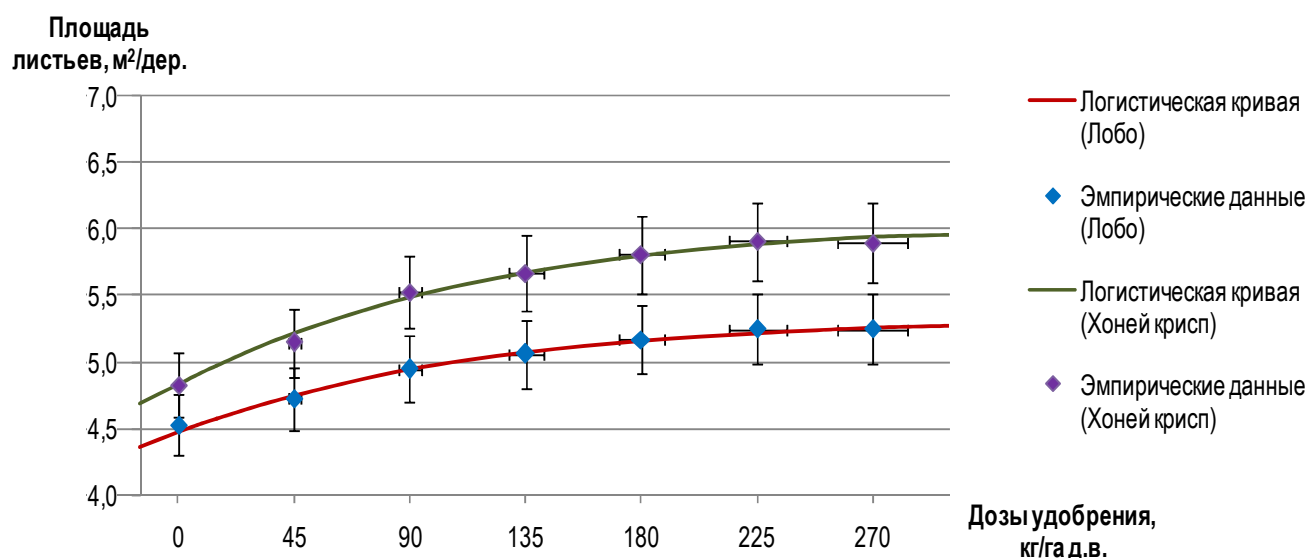


Рисунок 3.2.2.1 – Изменение общей площади листьев на деревьях яблони интенсивного сада при внесении в почву азотных удобрений, в среднем за 5 лет исследований по 2 сортам.

В динамике *массы листьев* в ответ на удобрение прослеживаются те же тенденции: так, сорт Лобо начинал проявлять значимые изменения в ответ на внесение азота, начиная с дозы 180 кг/га действующего вещества, изредка – с дозы 135 кг/га д.в. Растения сорта Хоней крисп заметно откликались повышением общей массы листьев уже на дозу 90 кг/га д.в., у деревьев этого сорта изначально наблюдалось большее количество листьев, которое также возрастало на следующий год после внесения азотных удобрений по сравнению с контрольной группой. Дальнейшее повышение дозы удобрений такого же значимого ответа не вызывало, следовательно, биомасса листьев с ростом азотного питания стабилизируется, выходя на плато (Рисунок 3.2.2.2.).

Рост массы листьев (M_L) у яблони исследуемых сортов при удобрении также описывается логистическим уравнением регрессии (3.2.2.2.).

$$M_L = K_{M_L} / (K_{M_L} \times P_{M_L} \times e^{-r \times x_N} + 1). \quad (3.2.2.2.)$$

Коэффициент детерминации для полученных уравнений $\geq 0,922$, коэффициент корреляции Пирсона $\geq 0,960$, в целом связь теоретической модели и опытных данных достаточно тесная. Расчетная величина $K_{МЛ}$ для сорта Лобо составляет $\sim 0,415$ кг/деревцо, а для сорта Хоней крисп она равна $\sim 0,445$ кг/деревцо. Откликаемость на фактор удобрения (r) у сорта Хоней крисп выше на 22,2%. То же касается и затрат метаболических ресурсов на рост и развитие листьев – оно выше на 35,7% у сорта Хоней крисп. Таким образом, сорт проявляет более высокий биологический потенциал по сравнению с сортом Лобо на уровне системы развития боковых органов.

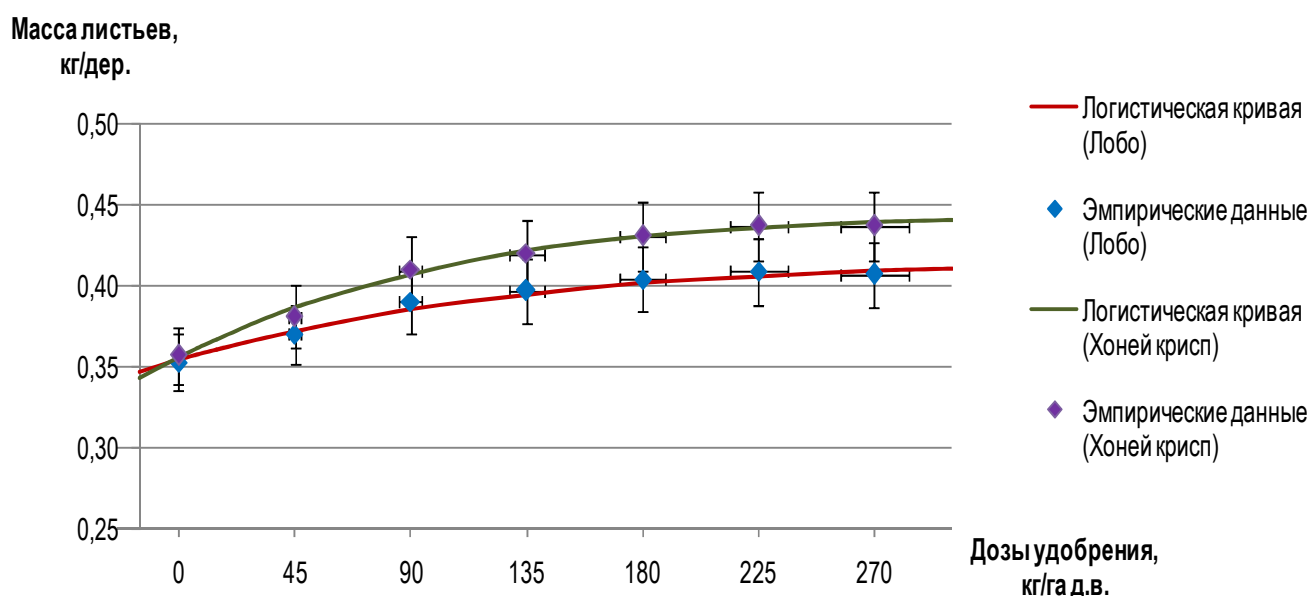


Рисунок 3.2.2.2 – Изменение общей массы листьев на деревьях яблони интенсивного сада при внесении в почву азотных удобрений, в среднем за 5 лет исследований.

В 2020 году вегетативная биомасса листьев яблони находилась в пределах 0,290-0,297 кг/дер. и не отличалась у обоих сортов. В этот год не установлено влияния внесения азотных удобрений на листовую массу. В среднем за 5 лет исследований величина вегетативной биомассы деревьев яблони сорта Лобо выросла на $\sim 20\%$ в контроле (до 0,353 кг/дер.) и на $\sim 40\%$ в опыте с максимальным удобрением (до 0,407 кг/дер.). У сорта Хоней Крисп в конце эксперимента наблюдались показатели 0,357 кг/дер. в контрольной группе и до 0,437 кг/дер. в опытной группе.

Значение роста биомассы листьев под влиянием азота весьма велико, т.к. листья, помимо основной метаболической функции, служат резервом минеральных элементов питания и, опадая, возвращают их в почву.

В таблице 3.2.2.2 показан диаметр штамба деревьев яблони при внесении в почву возрастающих доз азотных удобрений.

Таблица 3.2.2.2 – Диаметр штамба деревьев яблони при внесении в почву азотных удобрений, мм

Сорта	Варианты	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	$\pm \sigma$
Лобо	Контроль	44,6	49,0	52,5	55,4	58,3	52,0	$\pm 5,4$
	N ₄₅	44,6	49,1	54,0	57,2	60,9	53,2	$\pm 6,5$
	N ₉₀	44,6	49,1	55,5	59,2	63,8	54,4	$\pm 7,7$
	N ₁₃₅	44,7	49,2	56,1	60,0	63,9	54,8	$\pm 7,8$
	N ₁₈₀	44,8	49,2	56,8	60,8	64,0	55,1	$\pm 8,0$
	N ₂₂₅	44,7	49,3	57,2	60,1	64,5	55,2	$\pm 8,1$
	N ₂₇₀	44,8	49,4	56,7	60,2	64,4	55,1	$\pm 8,0$
HCP ₀₅		0,4	1,1	3,1	3,3	3,7	2,5	
Хоней Крисп	Контроль	45,5	49,3	52,8	55,1	58,3	52,2	$\pm 5,0$
	N ₄₅	45,6	49,4	54,5	57,2	60,2	53,4	$\pm 5,9$
	N ₉₀	45,6	49,5	56,3	59,5	62,2	54,6	$\pm 6,9$
	N ₁₃₅	45,7	49,6	57,0	60,2	63,0	55,1	$\pm 7,3$
	N ₁₈₀	45,8	49,6	57,7	61	63,9	55,6	$\pm 7,7$
	N ₂₂₅	45,5	49,7	57,9	61,3	64,2	55,7	$\pm 7,9$
	N ₂₇₀	45,6	49,7	58,0	61,2	64,2	55,7	$\pm 7,8$
HCP ₀₅		0,3	1,0	3,0	3,4	3,9	2,6	

В 2020 и 2021 годах не установлено влияния внесения азотных удобрений на диаметр штамба деревьев яблони обоих сортов. В первый год диаметр штамба деревьев яблони сорта Лобо находился в пределах 44,6-44,8 мм, сорта Хоней крисп – в пределах 45,5-45,7 мм., в следующий – диаметр штамба Лобо находился в пределах 49,0-49,4 мм, а сорта Хоней крисп – в пределах 49,3-49,7 мм. В среднем за 5 лет исследований величина диаметра штамба деревьев яблони сорта Лобо по всем вариантам находилась в пределах 52,0-55,2 мм, сорта Хоней крисп – в пределах 52,2-55,7 мм.

Существенное увеличение диаметра штамба деревьев яблони было отмечено по сорту Лобо (на 5,0%-6,2%) и сорту Хоней крисп (на 5,0%-6,7%) при внесении аммиачной селитры в дозе 90-270 кг/га д.в. Увеличение дозы удобрения выше минимально эффективной по каждому сорту не приводило к существенному пропорциональному увеличению диаметра штамба деревьев, что говорит о нелинейной зависимости между дозой вносимых азотных удобрений и диаметром штамба деревьев яблони на карликовых подвоях.

Увеличение диаметра штамба деревьев у сорта Лобо наблюдалось на третий год после начала экспериментов (2022) и в последующие годы, при внесении азотных удобрений 90 кг/га д.в. Повышение количества вносимых удобрений в 2 и 3 раза вызывало дальнейший рост диаметра штамба деревьев, но при этом различия в эффекте от этих доз практически отсутствовали во всех опытах, что указывает на нелинейность влияния азотных удобрений на диаметр штамба деревьев. У растений яблони сорта Хоней крисп увеличение диаметра штамба деревьев наблюдалось на третий год и в последующие годы при внесении азотных удобрений 90 кг/га д.в. и выше. Повышение количества вносимых удобрений в 2-3 раза вызывало примерно такое же по величине повышение диаметра штамба деревьев по сравнению с контролем.

На рисунке 3.2.2.3 показана модель роста диаметра штамба у деревьев яблони при внесении в почву азотных удобрений.

Диаметр штамба, мм

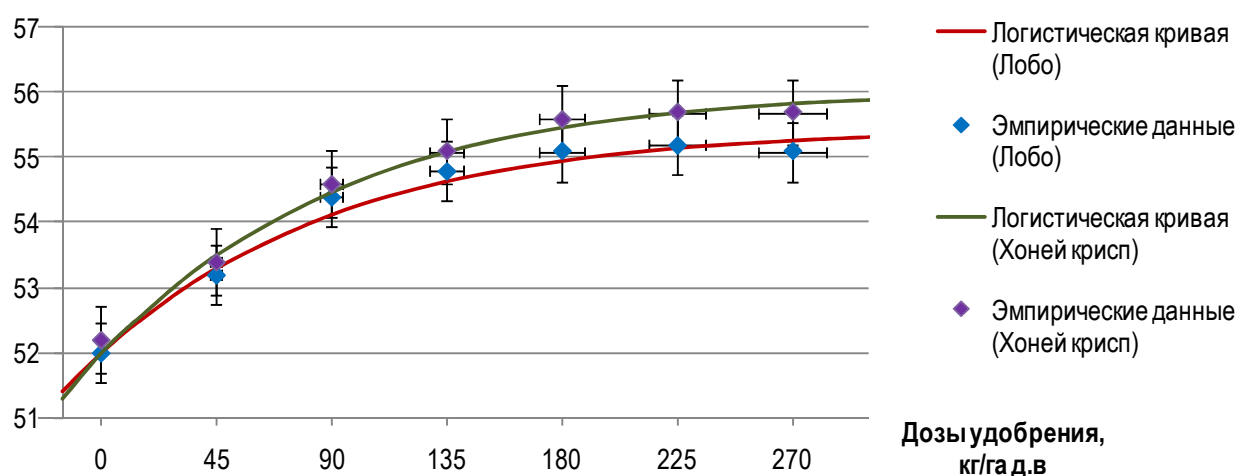


Рисунок 3.2.2.3 – Изменение диаметра штамба у деревьев яблони при внесении в почву азотных удобрений, в среднем за 5 лет исследований.

Наблюдается увеличение диаметра штамба у деревьев яблони обоих сортов (существенных различий нет). По графику видно, что рост замедляется и выходит на плато. Этот уровень (55,2-55,7 мм) является *нормой реакции* для 6-8 летней яблони на рост азотного питания, а у отдельных растений возможна вариабельность и превышение показателей.

Динамика роста диаметра штамба ($Ш_{\phi}$) у деревьев яблони сорта Лобо и сорта Хоней Крисп выражается логистическим уравнением регрессии:

$$Ш_{\phi} = K_{Ш_{\phi}} / (K_{Ш_{\phi}} \times P_{Ш_{\phi}} \times e^{-r \times x_N} + 1). \quad (3.2.2.3.)$$

Коэффициенты детерминации для полученных уравнений (3.2.2.3.) не ниже 0,914, коэффициенты корреляции Пирсона $\geq 0,956$, связь теоретической модели и опытных данных достаточно тесная.

Расчетная величина $K_{Ш_{\phi}}$ для сорта Лобо составляет 55,65 мм, а для сорта Хоней крисп она равна 56,17 мм. Ускорение роста (откликаемость камбия на удобрение) составляет 0,012 и 0,014 у сортов соответственно, вклад ($P_{Ш_{\phi}}$) метаболических ресурсов у сорта Хоней крисп выше на 11,1%, различия несущественны, особенно на фоне вариабельности показателей роста.

В таблицах 3.2.2.3.-3.2.2.4. показана сырая биомасса осевых вегетативных органов яблони при внесении в почву возрастающих доз азотных удобрений.

В первый год внесения азотных удобрений в почву яблоневого сада их влияния на увеличение вегетативной массы надземных осевых органов установлено не было. То же можно сказать о подземных органах яблони. Несмотря на непосредственный контакт корневой системы яблони с почвенным азотом, активизация их роста происходит только при реакции целостного организма растения, уже с поступлением пластических веществ в корни.

Интересна сортовая специфика осевых органов яблони в сравнении с реакцией листьев. Динамика роста надземных осевых органов яблони сорта Лобо включала значимую реакцию на повышение уровня азотных удобрений до дозы 135 кг/га д.в., начиная со второго года внесения. У растений яблони сорта Хоней крисп были получены аналогичные результаты только с 3 года внесения амми-

ачной селитры в такой же дозе (тогда как реакция листьев возникала раньше у этого сорта).

Таблица 3.2.2.3 – Сырая биомасса *надземных* осевых вегетативных органов яблони при внесении в почву азотных удобрений, кг/дерево

Сорта	Варианты	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	$\pm \sigma$
Лобо	Контроль	2,896	3,126	3,522	3,725	3,917	3,437	$\pm 0,421$
	N ₄₅	2,935	3,192	3,693	3,924	4,149	3,579	$\pm 0,505$
	N ₉₀	3,046	3,324	3,869	4,130	4,392	3,752	$\pm 0,558$
	N ₁₃₅	3,049	3,361	4,054	4,331	4,616	3,882	$\pm 0,659$
	N ₁₈₀	3,042	3,430	4,170	4,452	4,750	3,969	$\pm 0,713$
	N ₂₂₅	2,983	3,415	4,262	4,569	4,872	4,020	$\pm 0,795$
	N ₂₇₀	2,984	3,425	4,231	4,526	4,865	4,006	$\pm 0,781$
НСР ₀₅		<i>0,135</i>	<i>0,221</i>	<i>0,442</i>	<i>0,487</i>	<i>0,485</i>	<i>0,321</i>	
Хоней Крип	Контроль	3,054	3,471	3,542	3,701	3,910	3,536	$\pm 0,318$
	N ₄₅	3,078	3,506	3,727	3,920	4,130	3,672	$\pm 0,405$
	N ₉₀	3,103	3,541	3,920	4,150	4,360	3,815	$\pm 0,501$
	N ₁₃₅	3,131	3,600	4,105	4,362	4,595	3,959	$\pm 0,592$
	N ₁₈₀	3,147	3,630	4,222	4,495	4,742	4,047	$\pm 0,652$
	N ₂₂₅	3,149	3,667	4,312	4,593	4,850	4,114	$\pm 0,697$
	N ₂₇₀	3,143	3,670	4,311	4,600	4,855	4,116	$\pm 0,701$
НСР ₀₅		<i>0,121</i>	<i>0,200</i>	<i>0,450</i>	<i>0,507</i>	<i>0,481</i>	<i>0,318</i>	

Таблица 3.2.2.4 – Сырая биомасса *подземных* осевых вегетативных органов яблони при внесении в почву азотных удобрений, кг/дерево

Сорта	Варианты	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	$\pm \sigma$
Лобо	Контроль	2,119	2,358	2,512	2,664	2,790	2,489	$\pm 0,281$
	N ₄₅	2,122	2,381	2,657	2,833	2,986	2,596	$\pm 0,347$
	N ₉₀	2,177	2,405	2,806	3,008	3,191	2,717	$\pm 0,42$
	N ₁₃₅	2,254	2,483	2,974	3,199	3,401	2,862	$\pm 0,482$
	N ₁₈₀	2,281	2,502	3,073	3,310	3,522	2,938	$\pm 0,529$
	N ₂₂₅	2,294	2,527	3,161	3,369	3,635	2,997	$\pm 0,567$
	N ₂₇₀	2,303	2,529	3,148	3,372	3,637	2,998	$\pm 0,564$
НСР ₀₅		<i>0,193</i>	<i>0,144</i>	<i>0,340</i>	<i>0,344</i>	<i>0,349</i>	<i>0,299</i>	
Хоней Крип	Контроль	2,115	2,370	2,545	2,640	2,792	2,492	$\pm 0,261$
	N ₄₅	2,146	2,393	2,691	2,824	2,975	2,606	$\pm 0,334$
	N ₉₀	2,178	2,416	2,841	3,017	3,165	2,723	$\pm 0,414$
	N ₁₃₅	2,212	2,493	3,013	3,210	3,384	2,862	$\pm 0,494$
	N ₁₈₀	2,230	2,511	3,116	3,323	3,515	2,939	$\pm 0,547$
	N ₂₂₅	2,242	2,553	3,210	3,422	3,628	3,011	$\pm 0,59$
	N ₂₇₀	2,242	2,557	3,208	3,427	3,622	3,011	$\pm 0,588$
НСР ₀₅		<i>0,206</i>	<i>0,171</i>	<i>0,341</i>	<i>0,403</i>	<i>0,385</i>	<i>0,316</i>	

Что касается корневой системы, то она оказалась несколько более чувствительной к азотным удобрениям, с сохранением той же сортовой тенденции. Существенное увеличение массы корней на второй год было отмечено по сорту яблони Лобо – при дозах от 180 кг/га д.в., на третий год – при дозах от 135 кг/га д.в., а затем реакция наблюдалась уже на дозы в 90 кг/га д.в. азотных удобрений. Реакция сорта Хоней крисп была слабее, на второй год ее можно было констатировать только при больших дозах минерального азота (свыше 200 кг/га д.в.). В дальнейшем значимые различия в биомассе корней наблюдались при внесении аммиачной селитры в дозе от 135 кг/га д.в.

Повышение количества вносимых удобрений в 1,5 и 2 раза вызывало дальнейший рост корневой системы, но различия между вариантами такой дозировки и минимально эффективной дозой были незначимы. Это указывает на нелинейность влияния азотных удобрений на рост подземных вегетативных органов яблони. Эффект от повышения доз удобрений был несколько более заметным по сорту Лобо.

В таблице 3.2.2.5. показана общая вегетативная биомасса деревьев яблони при внесении в почву возрастающих доз азотных удобрений.

Общая вегетативная биомасса яблони ($M_{\text{вег.}}$) при внесении в почву возрастающих доз азотных удобрений описывается логистической кривой – уравнением регрессии вида:

$$M_{\text{вег.}} = K_{M_{\text{вег.}}} / (K_{M_{\text{вег.}}} \times P_{M_{\text{вег.}}} \times e^{-r \times x_N} + 1). \quad (3.2.2.4.)$$

Коэффициенты детерминации для полученных уравнений (3.2.2.4) для сортов $\geq 0,965$, коэффициенты корреляции Пирсона не ниже 0,982, – связь теоретической модели и опытных данных тесная. Расчетные величины параметров близки или одинаковы для двух сортов и отличаются в сотых или тысячных долях (интегрально откликаемость выше у сорта Лобо на 2,5%; ресурсозатраты – у сорта Хоней крисп на 3,3%).

Усредненная регрессионная кривая для роста биомассы имеет вид:

$$M_{\text{вег.}} = 7,680 / (0,215 e^{-0,0085 x_N} + 1). \quad (3.2.2.5.)$$

Коэффициенты детерминации ($\geq 0,988$) и коэффициенты корреляции Пирсона ($\geq 0,994$) для модели (3.2.2.5) выше, чем у кривых для каждого из сортов, – связь теоретической модели и опытных данных теснее (Рисунок 3.2.2.4).

Таблица 3.2.2.5 – Сырая вегетативная биомасса деревьев яблони при внесении в почву азотных удобрений, кг/дерево

Сорта	Варианты	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	$\pm \sigma$
Лобо	Контроль	5,357	5,822	6,401	6,764	7,098	6,288	$\pm 0,737$
	N ₄₅	5,351	5,927	6,741	7,154	7,550	6,545	$\pm 0,898$
	N ₉₀	5,519	6,100	7,094	7,560	8,025	6,860	$\pm 1,034$
	N ₁₃₅	5,599	6,227	7,453	7,963	8,465	7,141	$\pm 1,198$
	N ₁₈₀	5,620	6,328	7,674	8,206	8,726	7,311	$\pm 1,300$
	N ₂₂₅	5,576	6,341	7,867	8,381	8,969	7,427	$\pm 1,422$
	N ₂₇₀	5,580	6,344	7,827	8,339	8,964	7,411	$\pm 1,409$
HCP ₀₅		0,344	0,489	0,605	0,678	0,660	0,544	
Хоней Крисп	Контроль	5,461	6,177	6,454	6,727	7,104	6,385	$\pm 0,619$
	N ₄₅	5,515	6,260	6,814	7,161	7,545	6,659	$\pm 0,795$
	N ₉₀	5,572	6,348	7,192	7,620	8,011	6,949	$\pm 0,987$
	N ₁₃₅	5,633	6,496	7,560	8,039	8,479	7,241	$\pm 1,163$
	N ₁₈₀	5,667	6,557	7,792	8,300	8,772	7,418	$\pm 1,280$
	N ₂₂₅	5,683	6,641	7,989	8,510	8,989	7,562	$\pm 1,369$
	N ₂₇₀	5,682	6,648	7,979	8,519	8,990	7,564	$\pm 1,369$
HCP ₀₅		0,304	0,459	0,610	0,681	0,655	0,539	

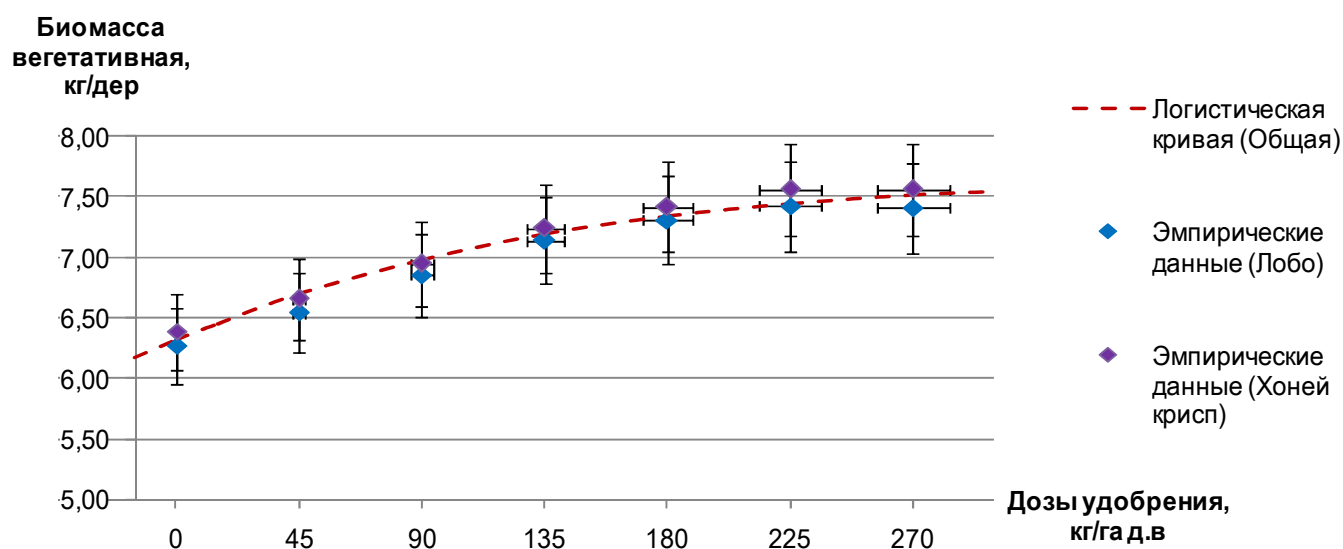


Рисунок 3.2.2.4 – Изменение вегетативной биомассы у деревьев яблони интенсивного сада при внесении в почву азотных удобрений, в среднем за 5 лет исследований по 2 сортам.

В 2020 году, в первый год внесения в почву азотных удобрений, общая вегетативная биомасса деревьев яблони сорта Лобо находилась в пределах 5,35-5,58 кг/дер., сорта Хоней Крисп – в пределах 5,46-5,68 кг/дер. В этот год не установлено влияния внесения азотных удобрений на вегетативную биомассу деревьев яблони обоих сортов. В 2021 году вегетативная биомасса деревьев яблони сорта Лобо значительно увеличивалась при внесении азота от 180 кг/га д.в., у сорта Хоней Крисп – от 225 кг/га д.в.

Существенное увеличение вегетативной биомассы у деревьев сорта Лобо наблюдалось на третий год после начала экспериментов (2022) и в последующие годы, при внесении азотных удобрений в дозе от 90 кг/га д.в. У растений яблони сорта Хоней Крисп были получены аналогичные результаты. Повышение вегетативной биомассы деревьев по сравнению с контролем наблюдалось на третий и в последующие годы при внесении азотных удобрений 90 кг/га д.в. и выше. Добавление более высоких доз аммиачной селитры вызывало дальнейший рост вегетативной биомассы деревьев, но при этом различия в эффекте от этих доз были практически неразличимы во всех опытах. В среднем за 5 лет исследований общая величина вегетативной массы деревьев яблони сорта Лобо по всем вариантам находилось в пределах 6,29-7,43 кг/дер., сорта Хоней Крисп – в пределах 6,39-7,56 кг/дер. Значимое увеличение вегетативной биомассы деревьев яблони было отмечено по сорту Лобо – на 5,4%-7,6%, по сорту Хоней Крисп – на 5,2%-7,8% при внесении аммиачной селитры 90-270 кг/га д.в.

Таким образом, *нарастание вегетативной биомассы* для сорта Лобо составляло 0,816 кг/дер., для сорта Хоней крисп – 0,819 кг/дер. – в контрольной группе; в экспериментальной группе нарастание вегетативной биомассы для сорта Лобо составляло 0,919-1,229 кг/дер., а для сорта Хоней крисп, соответственно, 0,924-1,254 кг/дер.

В таблице 3.2.2.6 показана динамика нарастания вегетативной биомассы деревьев яблони при внесении в почву возрастающих доз азотных удобрений. Количественные различия по сортам не существенны, но интерес представляет реакция на внешние факторы.

В первые два года исследований значимого влияния внесения азотных удобрений на прирост вегетативной биомассы деревьев яблони обоих сортов установлено не было, затем отклик сортов на внесение аммиачной селитры варьировал.

Таблица 3.2.2.6 – Прирост вегетативной массы деревьев яблони при внесении в почву азотных удобрений с 2020 по 2024 гг., кг/дереву

Сорта	Варианты	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	$\pm \sigma$
Лобо	Контроль	0,867	0,857	0,917	0,730	0,709	0,816	$\pm 0,091$
	N ₄₅	0,961	0,870	1,168	0,804	0,793	0,919	$\pm 0,154$
	N ₉₀	1,129	0,877	1,365	0,885	0,887	1,029	$\pm 0,216$
	N ₁₃₅	1,209	0,924	1,609	0,935	0,935	1,122	$\pm 0,297$
	N ₁₈₀	1,230	1,005	1,742	0,963	0,964	1,181	$\pm 0,332$
	N ₂₂₅	1,186	1,064	1,925	0,958	1,031	1,233	$\pm 0,396$
	N ₂₇₀	1,190	1,057	1,873	0,960	1,066	1,229	$\pm 0,369$
НСР ₀₅		<i>0,390</i>	<i>0,334</i>	<i>0,445</i>	<i>0,211</i>	<i>0,161</i>	<i>0,272</i>	
Хоней Крисп	Контроль	1,071	1,008	0,613	0,640	0,763	0,819	$\pm 0,210$
	N ₄₅	1,125	1,035	0,915	0,743	0,801	0,924	$\pm 0,159$
	N ₉₀	1,182	1,067	1,235	0,859	0,844	1,037	$\pm 0,180$
	N ₁₃₅	1,243	1,153	1,467	0,921	0,907	1,138	$\pm 0,234$
	N ₁₈₀	1,277	1,179	1,651	0,962	0,954	1,205	$\pm 0,286$
	N ₂₂₅	1,293	1,250	1,769	0,988	0,974	1,255	$\pm 0,323$
	N ₂₇₀	1,292	1,263	1,752	1,000	0,963	1,254	$\pm 0,316$
НСР ₀₅		<i>0,373</i>	<i>0,338</i>	<i>0,478</i>	<i>0,241</i>	<i>0,133</i>	<i>0,274</i>	

Годы, известные как неурожайные, с неблагоприятными погодными условиями (2022, 2024) характеризовались высокой откликаемостью сортов на удобрение: деревья обоих сортов демонстрировали значимый прирост биомассы в ответ на внесение азотных удобрений в дозе 90-135 кг/га д.в. и выше.

В наиболее урожайный год (2023), напротив, значимый прирост биомассы сорта Лобо отмечался при внесении удобрений свыше 180 кг/га д.в. (у сорта Хоней крисп – от 135 кг/га д.в.). При этом реакция растений сорта Лобо в опыте сильнее варьировала по годам, а отклик сорта Хоней крисп был более стабильным.

Усредненные данные по приросту вегетативной биомассы яблони за 5 лет не показывают сортовой специфики (Рисунок 3.2.2.5).

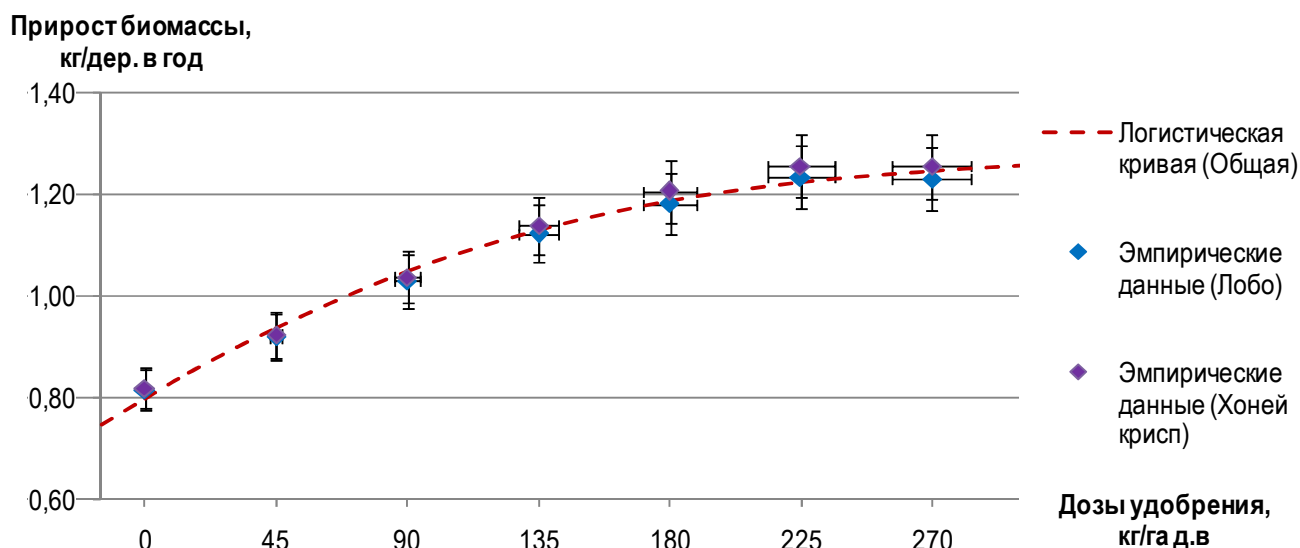


Рисунок 3.2.2.5 – Прирост вегетативной биомассы у деревьев яблони интенсивного сада при внесении в почву азотных удобрений, в среднем за 5 лет исследований по 2 сортам.

Учитывая сходство эмпирических данных по обоим сортам (коэффициент корреляции Пирсона $R = 0,9999$), можно считать, что динамика прироста биомассы ($\Delta M_{\text{вез.}}$) у деревьев яблони сортов Лобо и Хоней крисп выражается одним общим уравнением регрессии вида:

$$\Delta M_{\text{вез.}} = 1,285 / (0,610 \times e^{-0,011 x_N} + 1). \quad (3.2.2.6.)$$

Коэффициент детерминации для уравнения (3.2.2.6) составляет не менее 0,978, коэффициенты корреляции Пирсона не ниже 0,989, что указывает на тесную связь теоретической модели и опытных данных.

Таким образом, наблюдается существенное увеличение биологических параметров деревьев яблони сортов Лобо и Хоней Крисп в интенсивном саду на карликовом подвое Парадизка Будаговского при внесении в почву азотных удобрений: площади листьев на дереве – на 14,1%-22,4%; диаметра штамба деревьев – на 5,0%-6,7%; вегетативной биомассы – на 5,2%-7,8%. Прирост вегетативной биомассы у деревьев яблони сортов Лобо и Хоней Крисп увеличивался на 12,6%-53,1%, причем его чувствительность к внесению азотных удобрений была выше в неурожайные годы.

Повышение дозы удобрения выше минимально эффективной даже в 2-3 раза по каждому сорту не приводит к пропорциональному увеличению показателя, что указывает на нелинейность влияния азотных удобрений на вегетативную биомассу деревьев яблони на карликовых подвоях. Нелинейная зависимость между ростом деревьев яблони сортов Лобо и Хоней Крисп в интенсивном саду и дозой внесенных азотных удобрений выражается логистическим уравнением регрессии. Отмечается сортовая специфика в реакции деревьев яблони в интенсивном саду на внесение удобрений: для сорта Лобо свойственны более ранние реакции и большая чувствительность к повышению дозы азота со стороны осевых органов, особенно корневой системы; для сорта Хоней Крисп – большая чувствительность и откликаемость на удобрения со стороны листьев.

3.2.3 Влияние азотных удобрений на урожайность и компоненты продуктивности яблони

В таблице 3.2.3.1 показано количество плодов яблони на карликовом подвое Парадизка Будаговского (В9) в интенсивном саду 2015 года посадки (начало плодоношения – с первого года после посадки) в возрастном периоде полного плодоношения при внесении в почву возрастающих доз азотных удобрений. В 2020 году количество плодов на деревьях яблони сорта Лобо по всем вариантам находилась в пределах 75-79 шт. Количество плодов на деревьях яблони сорта Хоней крисп по всем вариантам находилась в пределах 51-55 шт. В этом году не установлено влияние внесения азотных удобрений на урожайность деревьев яблони сортов Лобо и Хоней Крисп.

В 2021 году количество плодов на деревьях яблони сорта Лобо по всем вариантам находилась в пределах 65-72 шт. Количество плодов на деревьях яблони сорта Хоней крисп по всем вариантам находилась в пределах 83-93 шт., влияние

азотных удобрений на количество плодов отмечалось при внесении максимальной дозы (270 кг/га д.в.).

В 2022 году количество плодов на деревьях яблони сорта Лобо по всем вариантам находилась в пределах 44-62 шт. Количество плодов на деревьях яблони сорта Хоней крисп по всем вариантам находилась в пределах 85-108 шт. В этом году установлено влияние внесения азотных удобрений в дозе от 180 кг/га д.в. на количество плодов на деревьях яблони: по сорту Лобо отмечено существенное увеличение количества плодов на деревьях на 23,9%-30,4%; по сорту Хоней Крисп – на 11,2%-15,7% в сравнении с контролем.

Таблица 3.2.3.1 – Количество плодов на деревьях яблони при внесении в почву азотных удобрений, шт./дерево

Сорта	Варианты	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	± σ
Лобо	Контроль	75	65	46	131	60	75	± 33
	N ₄₅	74	65	48	134	63	77	± 33
	N ₉₀	77	68	50	143	69	81	± 36
	N ₁₃₅	75	69	54	144	71	83	± 35
	N ₁₈₀	76	71	57	146	73	85	± 35
	N ₂₂₅	79	71	60	151	75	87	± 36
	N ₂₇₀	78	72	60	151	75	87	± 36
НСР ₀₅		4,5	6,1	9,3	12,3	10,3	8,7	
Хоней крисп	Контроль	51	83	89	125	74	84	± 27
	N ₄₅	51	83	91	128	77	86	± 28
	N ₉₀	53	86	96	136	84	91	± 30
	N ₁₃₅	52	87	97	144	86	93	± 33
	N ₁₈₀	54	90	101	149	88	96	± 34
	N ₂₂₅	55	90	103	153	91	98	± 35
	N ₂₇₀	55	93	103	156	91	100	± 36
НСР ₀₅		4,4	7,6	11,4	14,4	11,3	10,2	

***жирным шрифтом** выделены значения показателя, существенно превышающие значения в контрольном варианте (здесь и далее)

Наибольшее количество плодов на деревьях яблони сортов Лобо и Хоней крисп отмечено в 2023 году. На деревьях яблони сорта Лобо по всем вариантам оно находилась в пределах 131-151 шт., на деревьях яблони сорта Хоней Крисп – в пределах 125-156 шт. Отмечено значимое увеличение количества плодов на де-

ревях: по сорту Лобо – на 9,9%-15,6%; по сорту Хоней Крисп – на 15,2%-24,8%, – при внесении от 135 кг/га д.в. азотных удобрений. В 2024 году количество плодов по всем вариантам сорта Лобо находилось в пределах 60-75 шт. и в пределах 74-91 шт. – по вариантам сорта Хоней Крисп. В этом году также установлено влияние азотных удобрений при внесении в дозах 135 кг/га д.в. и выше на количество плодов на деревьях яблони сорта Лобо на 18,3%-38,9% и на деревьях яблони сорта Хоней крисп – на 16,2%-23,0%.

В среднем за 5 лет существенным для обоих сортов можно считать повышение числа плодов при внесении от 180 кг/га д.в. азотных удобрений. Число плодов на деревьях яблони сорта Лобо возрастало на 13,3%-16,0%, на деревьях сорта Хоней Крисп – на 14,3%-19,0%. Увеличение дозы удобрения выше минимально эффективной по каждому сорту не приводило к пропорциональному увеличению количества плодов, что говорит о наличии нелинейной зависимости между дозой вносимых азотных удобрений и числом плодов на деревьях яблони на карликовых подвоях.

На рисунке 3.2.3.1 показана динамика количества плодов на деревьях яблони сортов Лобо и Хоней крисп при внесении в почву азотных удобрений, в среднем за 5 лет исследований. Динамика числа плодов на деревьях яблони при повышении доз азотных удобрений в интенсивном саду выражается уравнением регрессии вида:

$$N_{нл.} = K_{нл.} / (K_{нл.} \times P_{нл.} \times e^{-r \times x_N} + 1), \quad (3.2.3.1.)$$

где: $N_{нл.}$ – количество плодов на дерево, $K_{нл.}$ – потенциал по количеству плодов, $P_{нл.}$ – метаболический вклад в увеличение количества плодов, r – откликаемость на азотные удобрения.

Величина $K_{нл.}$ для сорта Лобо составляет 90 плодов на дерево, для сорта Хоней крисп – 103 плода на дерево, причем она отражает норму реакции растения 6-8 лет на растущий уровень азотного питания, а не возможный максимум для сорта (он может быть и выше). Связь теоретической кривой и опытных данных для обоих сортов тесная, коэффициент детерминации $R^2 \geq 0,862$.

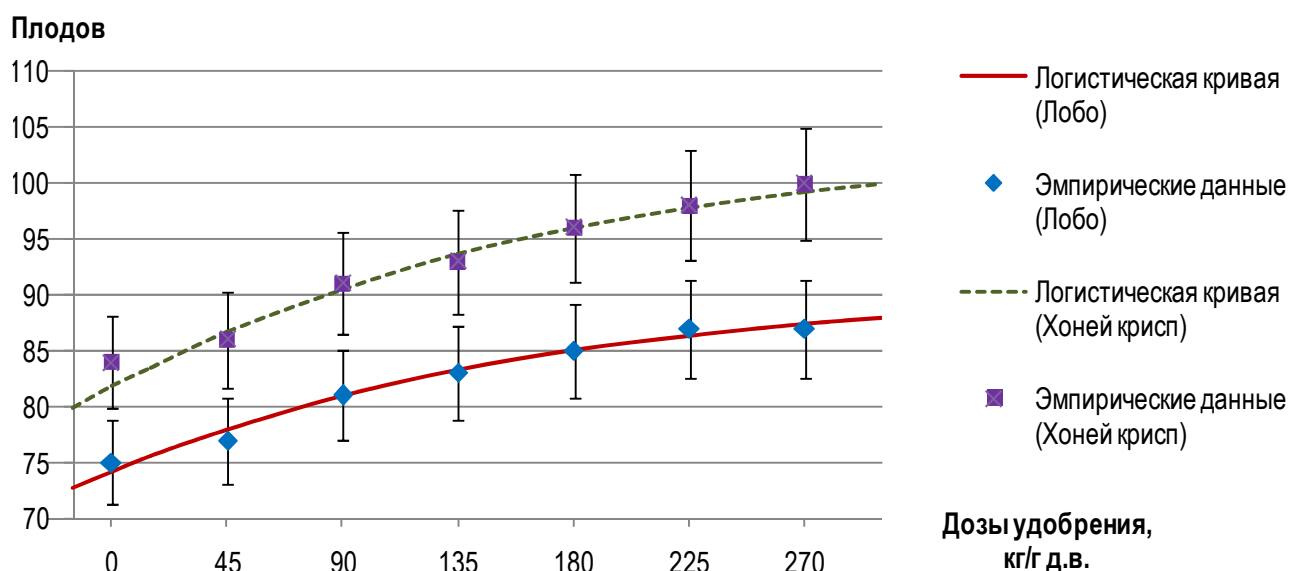


Рисунок 3.2.3.1 – Изменение количества плодов на деревьях яблони в интенсивном саду при внесении в почву азотных удобрений, шт./дер.

Расчетная величина вклада метаболических ресурсов в плодоношение у сорта Хоней крисп выше на 6,9%, откликаемость почти одинакова (у сорта Лобо выше на 2,9%), при этом Хоней крисп проявляет более высокий биологический потенциал в использовании азота.

В таблице 3.2.3.2 показана средняя масса плодов яблони при внесении в почву возрастающих доз азотных удобрений.

Наиболее высокая средняя масса плодов яблони сортов Лобо и Хоней крисп отмечена в 2020 и 2023 гг. В 2020 году у яблони сорта Лобо средняя масса плодов по всем вариантам находилась в пределах 146-150 г., у яблони сорта Хоней крисп по всем вариантам – в пределах 132-135 г.

В 2021 году средняя масса плодов яблони по всем вариантам была ниже, и у сорта Лобо находилась в пределах 114-125 г., а у сорта Хоней крисп – в пределах 112-123 г. Начиная с этого года, было установлено влияние азотных удобрений в дозах от 180 кг/га д.в. на массу плодов яблони сорта Лобо. В 2022 г. значимое увеличение массы плодов яблони в опыте составило 8,9%-14,9% по сорту Лобо при внесении доз азотных удобрений от 135 кг/га д.в. и 12,4%-13,3% по сорту Хоней крисп при внесении от 180 кг/га д.в. по сравнению с контролем. В 2023 году средняя масса плодов яблони по сорту Лобо увеличивалась на 8,4%-11,9%, а по

сорта Хоней крисп – на 16,7%-29,8% под влиянием внесения азотных удобрений в дозах от 135 кг/га д.в. В 2024 году значимое увеличение массы плодов яблони по сорту Лобо составляло 8,1%-12,5%, по сорту Хоней крисп – на 15,6%-21,1% (при внесении 135-270 кг/га д.в. аммиачной селитры).

Таблица 3.2.3.2 – Средняя масса плодов яблони при внесении в почву азотных удобрений, г.

Сорта	Варианты	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	± σ
Лобо	Контроль	147	114	134	143	136	135	± 12,6
	N ₄₅	146	117	139	148	140	138	± 12,4
	N ₉₀	147	120	145	152	146	142	± 12,4
	N ₁₃₅	150	121	146	155	147	144	± 13,3
	N ₁₈₀	148	123	149	156	149	145	± 12,6
	N ₂₂₅	150	125	152	158	150	147	± 12,9
	N ₂₇₀	149	125	154	159	153	148	± 13,4
НСР ₀₅		4,5	8,4	11,1	11,5	10,4	9,1	
Хоней крисп	Контроль	132	116	113	114	109	117	± 8,7
	N ₄₅	133	112	118	117	120	120	± 7,8
	N ₉₀	134	117	123	121	122	123	± 6,5
	N ₁₃₅	132	118	125	133	126	127	± 7,3
	N ₁₈₀	134	121	127	143	128	130	± 8,0
	N ₂₂₅	135	121	128	146	131	132	± 9,3
	N ₂₇₀	133	123	128	148	132	133	± 9,3
НСР ₀₅		3,9	7,3	12,8	13,3	13,5	11,1	

В среднем за 5 лет исследований было установлено, что средняя масса плодов яблони сорта Лобо достоверно увеличивалась на 6,7%-9,6% при внесении от 135 кг/га д.в. азотных удобрений, а средняя масса плодов яблони сорта Хоней крисп – на 11,1%-13,7% при внесении от 180 кг/га д.в. азотных удобрений. При этом отмечается примерно в полтора раза меньшая величина разброса показателя по годам у сорта Хоней крисп (Трунов и др., 2025 а).

Средняя масса плодов на деревьях яблони сорта Лобо при повышении доз азотных удобрений в интенсивном саду выражается логистическим уравнением регрессии вида:

$$M_{н.л.}(Лобо) = 151 / (0,1268 \times e^{-0,0071 \times x_N} + 1). \quad (3.2.3.2.)$$

Для яблони сорта Хоней крисп соответствующее уравнение регрессии имеет вид:

$$M_{пл.}(Х.крисп) = 135 / (0,1674 \times e^{-0,0085 \times x_N} + 1). \quad (3.2.3.3.)$$

Связь теоретических кривых и опытных данных для обоих сортов тесная, коэффициент детерминации для сорта Лобо: $R^2 = 0,993$; для сорта Хоней крисп: $R^2 = 0,971$. Откликаемость и вклад ресурсов в биомассу плодов выше у сорта Хоней крисп, потенциал наращивания массы выше у сорта Лобо, который является более крупноплодным (Рисунок 3.2.3.2).

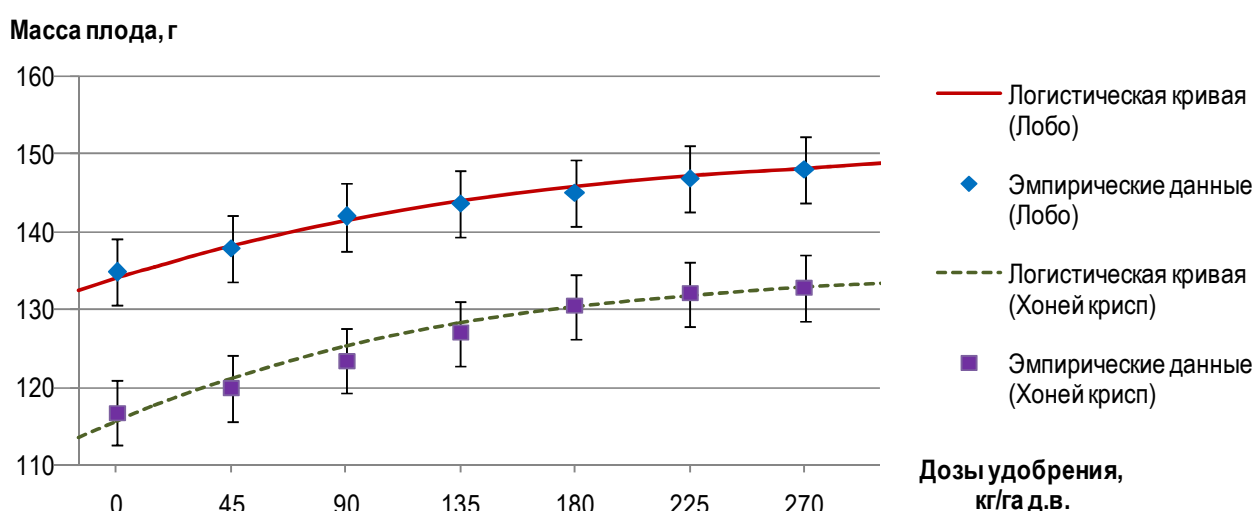


Рисунок 3.2.3.2 – Изменение средней массы плодов на деревьях яблони в интенсивном саду при внесении в почву азотных удобрений, г.

В таблице 3.2.3.3. показан суммарный прирост вегетативной и плодовой биомассы деревьев яблони при внесении в почву возрастающих доз азотных удобрений. В 2020-2021 гг. не было установлено влияния внесения азотных удобрений на суммарный прирост биомассы обоих сортов. В 2020 году наблюдался суммарный прирост биомассы деревьев яблони сорта Лобо в пределах 12,4-13,0 кг/дер., сорта Хоней крисп – в пределах 8,2-8,7 кг/дер.; в 2021 году, наоборот, прирост биомассы деревьев яблони сорта Лобо составлял 8,2-9,7 кг/дер., а сорта Хоней крисп – находился в пределах 11,4-12,9 кг/дер.

Увеличение прироста суммарной биомассы деревьев у обоих сортов наблюдалось на третий год после начала экспериментов (2022) при внесении азотных

удобрений в дозе от 180 кг/га д.в. Повышение этой дозы не вызывало дальнейшего усиления роста суммарной биомассы деревьев. В 2023 году наблюдалось существенное увеличение суммарного прироста биомассы деревьев яблони уже при внесении 90-135 кг/га д.в. азотных удобрений, а в 2024 году – уже начиная с 90 кг/га д.в., что можно объяснить накопительным эффектом действия азотных удобрений.

Таблица 3.2.3.3 – Суммарный прирост биомассы яблони на карликовом подвое при внесении в почву азотных удобрений, кг/дерево

Сорта	Варианты	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	± σ
Лобо	Контроль	12,4	8,2	7,4	20,7	9,8	11,7	± 5,4
	N ₄₅	12,1	8,6	8,2	21,7	10,5	12,2	± 5,5
	N ₉₀	12,7	9,0	9,2	22,8	11,5	13,0	± 5,7
	N ₁₃₅	12,8	9,1	9,5	22,8	11,6	13,1	± 5,6
	N ₁₈₀	12,6	9,6	10,0	23,1	12,1	13,5	± 5,5
	N ₂₂₅	13,0	9,5	10,8	23,7	12,3	13,9	± 5,7
	N ₂₇₀	12,8	9,7	10,7	23,7	12,3	13,9	± 5,7
НСР ₀₅		1,1	1,9	2,5	2,0	1,5	1,4	
Хоней крисп	Контроль	8,2	11,4	11,6	22,8	10,8	13,0	± 5,7
	N ₄₅	8,3	11,6	12,4	23,4	11,4	13,4	± 5,8
	N ₉₀	8,5	12,0	13,5	24,4	12,4	14,1	± 6
	N ₁₃₅	8,5	12,1	13,8	24,8	12,4	14,3	± 6,2
	N ₁₈₀	8,6	12,6	14,2	25,5	12,7	14,7	± 6,4
	N ₂₂₅	8,6	12,6	14,7	25,6	13,2	14,9	± 6,4
	N ₂₇₀	8,7	12,9	14,5	26,0	13,1	15,0	± 6,5
НСР ₀₅		0,9	1,6	2,4	1,9	1,3	1,3	

В среднем за 5 лет исследований величина суммарного прироста биомассы деревьев яблони сорта Лобо по всем вариантам находилось в пределах 11,7-13,9 кг/дер., сорта Хоней крисп – в пределах 13,0-15,0 кг/дер.

Существенное увеличение среднего суммарного прироста биомассы деревьев яблони отмечалось по сорту Лобо на 12,0%-18,8%, по сорту Хоней Крисп – на 10,0%-15,4% при внесении аммиачной селитры в дозах от 135 кг/га действующего вещества. Увеличение дозы удобрения выше минимально эффективной по каждому сорту не приводило к пропорциональному увеличению прироста биомассы деревьев (Трунов и др., 2025 б).

Динамика суммарного прироста биомассы деревьев яблони сорта Лобо выражается логистическим уравнением регрессии (3.2.3.4.) с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,941$:

$$\Delta M_{\text{общ}} = 14,0 / (0,232 \times e^{-0,0116 \times x_N} + 1). \quad (3.2.3.4.)$$

Динамика суммарного прироста биомассы деревьев яблони сорта Хоней крисп выражается аналогичным уравнением регрессии (3.2.3.5.) с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,985$:

$$\Delta M_{\text{общ}} = 15,2 / (0,198 \times e^{-0,0101 \times x_N} + 1). \quad (3.2.3.5.)$$

На рисунке 3.2.3.3 показана модель суммарного прироста биомассы деревьев яблони при внесении в почву азотных удобрений, в среднем за 5 лет исследований.

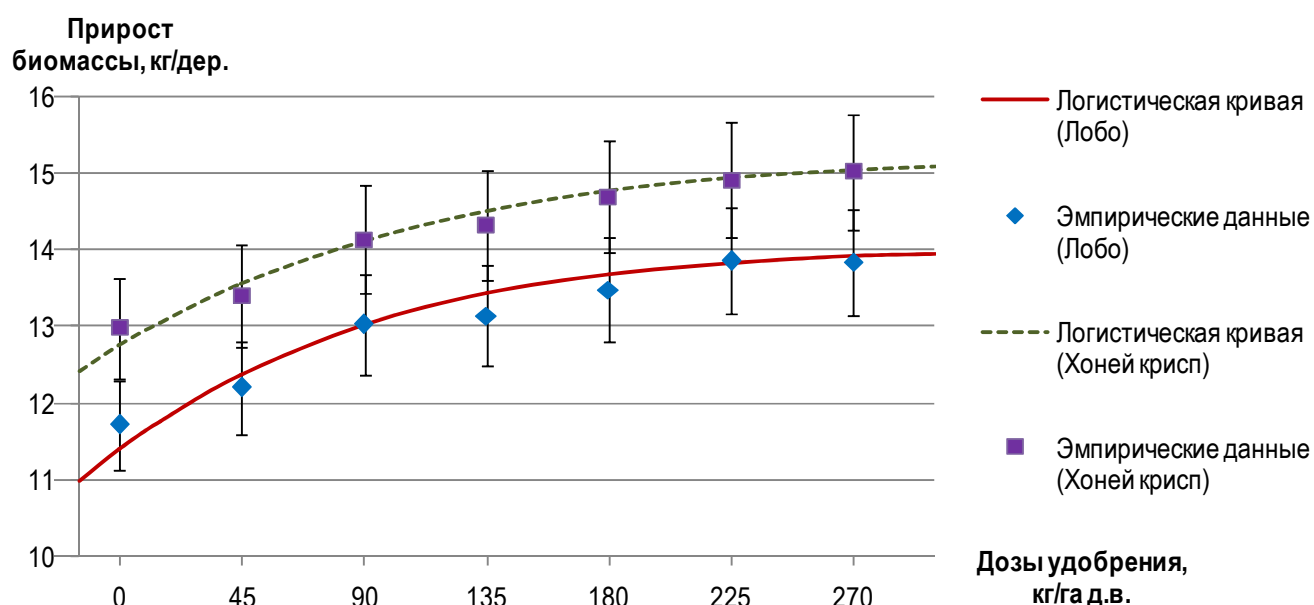


Рисунок 3.2.3.3 – Изменение суммарного прироста биомассы деревьев яблони (кг/дер.) в интенсивном саду при внесении в почву азотных удобрений (в среднем за 5 лет исследований).

Кривые (3.2.3.4.; 3.2.3.5.) на вид почти параллельны, т.к. большая откликаемость сорта Лобо уравнивается большими метаболическими затратами. Тем не менее, диапазон значений почвенного азота, соответствующий наибольшей чувствительности деревьев сорта Лобо находится правее, чем соответствующий диапазон чувствительности сорта Хоней крисп.

В таблице 3.2.3.4 отражена *урожайность* яблони (т/га) при внесении в почву возрастающих доз азотных удобрений.

Таблица 3.2.3.4 – Урожайность яблони на карликовом подвое при внесении в почву азотных удобрений, т/га

Сорта	Варианты	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	± σ
Лобо	Контроль	27,6	18,6	15,4	46,9	20,3	25,8	± 12,6
	N ₄₅	27,0	19,0	16,7	49,5	22,0	26,9	± 13,3
	N ₉₀	28,4	20,5	18,1	54,2	25,2	29,3	± 14,5
	N ₁₃₅	28,0	20,8	19,7	55,8	26,0	30,1	± 14,8
	N ₁₈₀	28,1	21,9	21,2	57,0	27,2	31,1	± 14,8
	N ₂₂₅	29,6	22,4	22,7	59,6	28,1	32,5	± 15,5
	N ₂₇₀	29,1	22,5	23,1	60,1	28,6	32,7	± 15,6
НСР ₀₅		3,5	4,1	5,7	8,5	5,5	4,4	
Хоней крисп	Контроль	16,8	24,1	25,2	35,8	20,2	24,4	± 7,2
	N ₄₅	17,0	23,3	26,8	37,4	23,1	25,5	± 7,5
	N ₉₀	17,8	25,1	29,6	41,1	25,6	27,8	± 8,6
	N ₁₃₅	17,2	25,6	30,3	47,9	27,2	29,6	± 11,3
	N ₁₈₀	18,0	27,3	31,9	53,1	28,1	31,7	± 13,0
	N ₂₂₅	18,5	27,5	33,0	55,8	29,7	32,9	± 13,9
	N ₂₇₀	18,3	28,6	33,0	57,7	30,0	33,4	± 14,6
НСР ₀₅		3,7	4,7	6,6	10,9	5,7	5,7	

Наиболее высокая урожайность деревьев яблони по сорту Лобо отмечена в 2020 и 2023 гг., по сорту Хоней крисп – в 2023 г. В 2020 году урожайность деревьев яблони сорта Лобо по всем вариантам находилась в пределах 27,0-29,6 т/га. Урожайность деревьев яблони сорта Хоней крисп по всем вариантам находилась в пределах 16,8-18,5 т/га, что существенно ниже, чем по сорту Лобо ($НСР$ между сортами = 7,6 т/га, $p < 0,05$). В 2021 году урожайность деревьев яблони сорта Лобо по всем вариантам находилась в пределах 18,6-22,5 т/га. Урожайность деревьев яблони сорта Хоней крисп по всем вариантам находилась в пределах 23,3-28,6 т/га ($НСР$ между сортами = 5,7 т/га, $p < 0,05$), что существенно выше, чем по сорту Лобо. В 2020-2021 гг. не установлено влияния внесения азотных удобрений на урожайность деревьев яблони сортов Лобо и Хоней крисп.

В 2022 году урожайность деревьев яблони сорта Лобо по всем вариантам находилась в пределах 15,4-23,1 т/га. Урожайность сорта Хоней Крисп находи-

лась в пределах 25,2-33,0 т/га. В 2022 гг. проявляется влияние азотных удобрений в дозе от 180 кг/га д.в. на урожайность обоих сортов. В 2023 г. урожайность деревьев яблони по всем вариантам была наиболее высокой и находилась по сорту Лобо в пределах 46,9-60,1 т/га, по сорту Хоней Крисп – в пределах 35,8-57,7 т/га, что примерно вдвое выше, чем в остальные годы опыта (HCP между годами = 20,2 т/га, $p < 0,05$). В этом году и в последующем наблюдалось статистически значимое увеличение урожайности яблони при внесении аммиачной селитры в дозе от 135 кг/га д.в. В 2024 году урожайность деревьев яблони по всем вариантам резко снизилась по сравнению с прошлым годом из-за неблагоприятных погодных условий во время цветения и находилась по обоим сортам в пределах 20-30 т/га.

В среднем за 5 лет исследований урожайность деревьев яблони сорта Лобо по вариантам варьировала в пределах 25,8-32,7 т/га, сорта Хоней крисп – в пределах 24,4-33,5 т/га. Существенное увеличение средней урожайности яблони отмечено при внесении аммиачной селитры в дозах от 180 кг/га д.в.: по сорту Лобо на 20,5%-26,7% и по сорту Хоней крисп на 29,9%-37,3%.

Применение доз удобрения более 180 кг/га д.в. не приводило к существенному пропорциональному увеличению урожайности, что говорит о нелинейной зависимости между дозой азотных удобрений и урожайностью деревьев яблони исследуемых сортов на карликовых подвоях.

Динамика урожайности яблони (т/га) при повышении доз азотных удобрений (кг/га) в интенсивном саду на карликовых подвоях выражается логистическими уравнениями регрессии вида:

$$Ур. (Лобо) = 27,1 / (0,520 \times e^{-0,007 \times x_N} + 1) + 7,6; \quad (3.2.3.6.)$$

$$Ур. (Хоней крисп) = 26,9 / (0,788 \times e^{-0,009 \times x_N} + 1) + 8,5. \quad (3.2.3.7.)$$

Коэффициенты детерминации для уравнений (3.2.3.6.; 3.2.3.7.) составляют не менее 0,975, что указывает на тесную корреляцию теоретической модели и опытных данных. Норма реакции на азотные удобрения по урожаю для сорта Лобо со-

ставляет 34,7 т/га, для сорта Хоней крисп – 35,4 т/га. Учитывая расчетный максимум, составляющий ~55 т/га для сорта Лобо и 50 т/га для сорта Хоней крисп, можно говорить о большей управляемости урожаем у второго из сортов (удобрения позволяют плотнее приблизиться к максимуму).

На рисунке 3.2.3.4 показана модель урожайности яблони на карликовых подвоях при внесении в почву азотных удобрений (в среднем за 5 лет исследований).

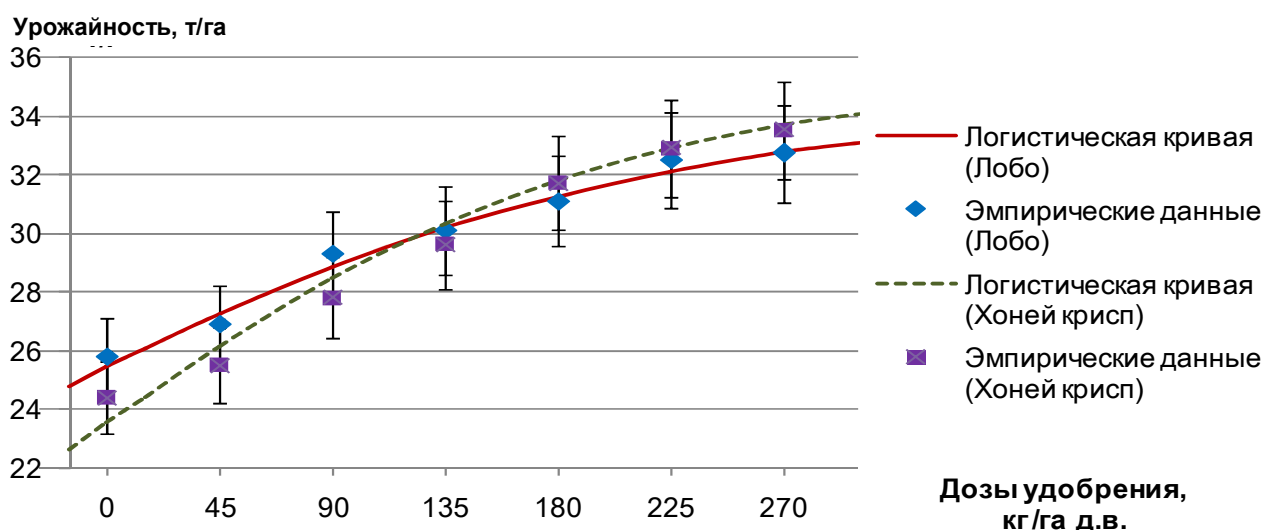


Рисунок 3.2.3.4 – Изменение средней урожайности яблони за 5 лет в интенсивном саду при внесении в почву азотных удобрений, т/га.

Откликаемость на фактор почвенного азота выше у сорта Хоней крисп, чем у сорта Лобо, метаболические затраты (вклад) у него также выше – кривая сорта Хоней крисп пересекает кривую сорта Лобо и быстрее достигает максимальных значений урожайности. Это обеспечивается более активным развитием листовой массы, которая служит источником воздушного питания и резервом минеральных элементов. В целом кривые находятся близко друг к другу и их различия невелики.

Удельная продуктивность к площади листьев отражает эффективность работы фотосинтезирующей системы дерева. Динамика удельной продуктивности деревьев яблони на единицу площади листьев (кг/м²) при внесении в почву возрастающих доз азотных удобрений показана в таблице 3.2.3.5. Наибольшая удельная продуктивность деревьев на единицу площади листьев была отмечена в 2023 г. у обоих сортов; наименьшая удельная продуктивность по сорту Лобо отмечена в 2021-2022 гг., по сорту Хоней Крисп – в 2020-2021 гг.

Таблица 3.2.3.5 – Динамика удельной продуктивности деревьев яблони на единицу площади листьев при внесении в почву возрастающих доз азотных удобрений.

Сорта	Варианты	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	$\pm \sigma$
Лобо	Контроль	2,41	1,67	1,35	4,20	1,79	2,28	$\pm 1,14$
	N ₄₅	2,39	1,60	1,40	4,21	1,84	2,29	$\pm 1,13$
	N ₉₀	2,50	1,63	1,43	4,27	1,98	2,36	$\pm 1,14$
	N ₁₃₅	2,47	1,62	1,51	4,29	2,02	2,38	$\pm 1,13$
	N ₁₈₀	2,47	1,65	1,57	4,27	2,07	2,41	$\pm 1,10$
	N ₂₂₅	2,59	1,65	1,67	4,39	2,10	2,48	$\pm 1,14$
	N ₂₇₀	2,55	1,64	1,69	4,43	2,13	2,49	$\pm 1,15$
НСР ₀₅		0,20	0,16	0,36	0,22	0,33	0,32	
Хоней крисп	Контроль	1,36	2,03	2,07	3,01	1,66	2,02	$\pm 0,62$
	N ₄₅	1,38	1,80	2,05	2,86	1,75	1,97	$\pm 0,55$
	N ₉₀	1,45	1,78[↓]	2,08	2,89	1,78	2,00	$\pm 0,55$
	N ₁₃₅	1,40	1,78[↓]	2,07	3,36	1,83	2,09	$\pm 0,75$
	N ₁₈₀	1,47	1,84	2,12	3,50	1,84	2,15	$\pm 0,79$
	N ₂₂₅	1,51	1,81	2,13	3,63	1,91	2,20	$\pm 0,83$
	N ₂₇₀	1,49	1,88	2,15	3,76	1,93	2,24	$\pm 0,9$
НСР ₀₅		0,17	0,23	0,26	0,44	0,26	0,34	

***жирным** выделены значения, существенно превышающие значения в контроле;

[↓] **курсивом** выделены значения, существенно меньше значений в контроле.

В 2024 году удельная продуктивность обоих сортов также имела тенденцию к снижению, особенно, на фоне предыдущего года (НСР между годами составляет 0,72 кг/м² для $p < 0,05$). Средний (за 5 лет) уровень удельной продуктивности деревьев яблони на единицу площади листьев по сорту Лобо находился в пределах 2,28-2,52 кг/м² по всем вариантам. У сорта Хоней крисп среднее за 5 лет исследований значение по всем вариантам находилось в пределах 2,28-2,49 кг/м². Внесение удобрений практически не оказало влияния на удельную продуктивность деревьев яблони на единицу площади листьев.

При этом в 2021 г. наблюдалась тенденция к снижению удельной продуктивности листьев под влиянием азотных удобрений, а в 2023 году наблюдалось повышение удельной продуктивности, особенно у сорта Хоней крисп. В 2024 году наблюдалась та же тенденция, но более слабая.

Таким образом, азотные удобрения, повышая общую продуктивность растений яблони, в большинстве случаев не оказывают устойчивого влияния на удельную продуктивность исследуемых деревьев из расчета к площади листьев.

В таблице 3.2.3.6 показана удельная продуктивность деревьев яблони на единицу сечения штамба при внесении в почву возрастающих доз азотных удобрений – показатель работы проводящей системы дерева.

Таблица 3.2.3.6 – Динамика удельной продуктивности деревьев яблони на единицу сечения штамба при внесении в почву возрастающих доз азотных удобрений.

Сорта	Варианты	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	$\pm \sigma$
Лобо	Контроль	0,706	0,394	0,285	0,779	0,305	0,494	$\pm 0,232$
	N ₄₅	0,692	0,402	0,292	0,770	0,302	0,492	$\pm 0,224$
	N ₉₀	0,726	0,432	0,299	0,788	0,315	0,512	$\pm 0,231$
	N ₁₃₅	0,714	0,439	0,319	0,790	0,325	0,517	$\pm 0,221$
	N ₁₈₀	0,713	0,460	0,335	0,785	0,339	0,526	$\pm 0,211$
	N ₂₂₅	0,756	0,470	0,354	0,840	0,344	0,553	$\pm 0,231$
	N ₂₇₀	0,739	0,469	0,366	0,845	0,351	0,554	$\pm 0,225$
НСР ₀₅		0,050	0,054	0,071	0,061	0,042	0,055	
Хоней крисп	Контроль	0,413	0,504	0,460	0,600	0,302	0,456	$\pm 0,110$
	N ₄₅	0,416	0,486	0,460	0,581	0,324	0,453	$\pm 0,094$
	N ₉₀	0,435	0,521	0,476	0,592	0,337	0,472	$\pm 0,095$
	N ₁₃₅	0,419	0,532	0,475	0,692	0,348	0,493	$\pm 0,130$
	N ₁₈₀	0,438	0,565	0,489	0,727	0,351	0,514	$\pm 0,142$
	N ₂₂₅	0,456	0,566	0,501	0,756	0,367	0,529	$\pm 0,146$
	N ₂₇₀	0,448	0,590	0,500	0,784	0,371	0,539	$\pm 0,159$
НСР ₀₅		0,047	0,058	0,060	0,087	0,059	0,058	

***жирным** выделены значения, существенно превышающие значения в контроле.

В среднем за 5 лет исследований удельная продуктивность деревьев на единицу сечения штамба увеличивалась под действием азотных удобрений в дозе 225-270 кг/га д.в. (у сорта Лобо примерно на 12%-13%; у сорта Хоней крисп – на 16%-18%). При этом значимой реакции не было отмечено в 2020 г. (1-й год внесения азотных удобрений), а в 2022 и 2024 гг. (неблагоприятные по погодным условиям годы) реакция наблюдалась только на максимальные дозы удобрений.

Таким образом, при условии закладки достаточного количества генеративных почек внесение азотных удобрений (в дозе свыше 180 кг/га д.в.) может способствовать более эффективному использованию проводящих тканей деревьев яблони.

Экспериментальные данные позволяют констатировать влияние азотных удобрений, как на вегетативную, так и на генеративную продукцию деревьев яблони на карликовых подвоях в интенсивном саду (Трунов, Кузин, Трунов, 2024; Трунов, Трунов, 2025; Трунов, 2025 б). У деревьев сорта Лобо под действием азотных удобрений увеличивались: прирост вегетативной массы – на 12,0%-17,8%; число плодов на дереве – на 13,3%-16,0%; средняя масса плодов – на 6,7%-9,6%; общая урожайность – на 28%-49%. У деревьев сорта Хоней крисп увеличивались: прирост вегетативной массы – на 10,0%-15,4%; число плодов на дереве – на 14,3%-19,0%; средняя масса плодов – на 11,1%-13,7%; общая урожайность – на 29,9%-37,3%.

Прогноз продуктивности яблони может базироваться на доле почвенного азота, которая также меняется при внесении достаточных доз азотных удобрений. Теоретическая зависимость массы биологической продукции яблони от доли азота в корнеобитаемом слое почвы описывается логистическими уравнениями регрессии:

$$M_{ур.} = \frac{12,2}{149,755 \cdot e^{-0,044 \cdot \omega_{N(почв.)}} + 1} + 3,08. \quad (3.2.3.8.)$$

$$\Delta M_{вег.} = \frac{1,1}{2258,443 \cdot e^{-0,064 \cdot \omega_{N(почв.)}} + 1} + 0,305. \quad (3.2.3.9.)$$

Коэффициенты детерминации (R^2) для кривых (3.2.3.8. и 3.2.3.9.) составляют $> 0,98$, т.е., более 98% динамики усредненных по всем остальным факторам показателей биологической продукции, описываются данными уравнениями. Таким образом, существенное увеличение компонентов продуктивности деревьев яблони на карликовом подвое Парадизка Будаговского в интенсивном саду зависит от поддержания определенного уровня почвенного азота. При этом азотные удобрения влияют на рост урожая опосредованно – через усиление развития фотосинте-

зирующих органов. На рисунке 3.2.3.5 представлена продуктивность деревьев яблони в зависимости от содержания азота в корнеобитаемом слое почвы.

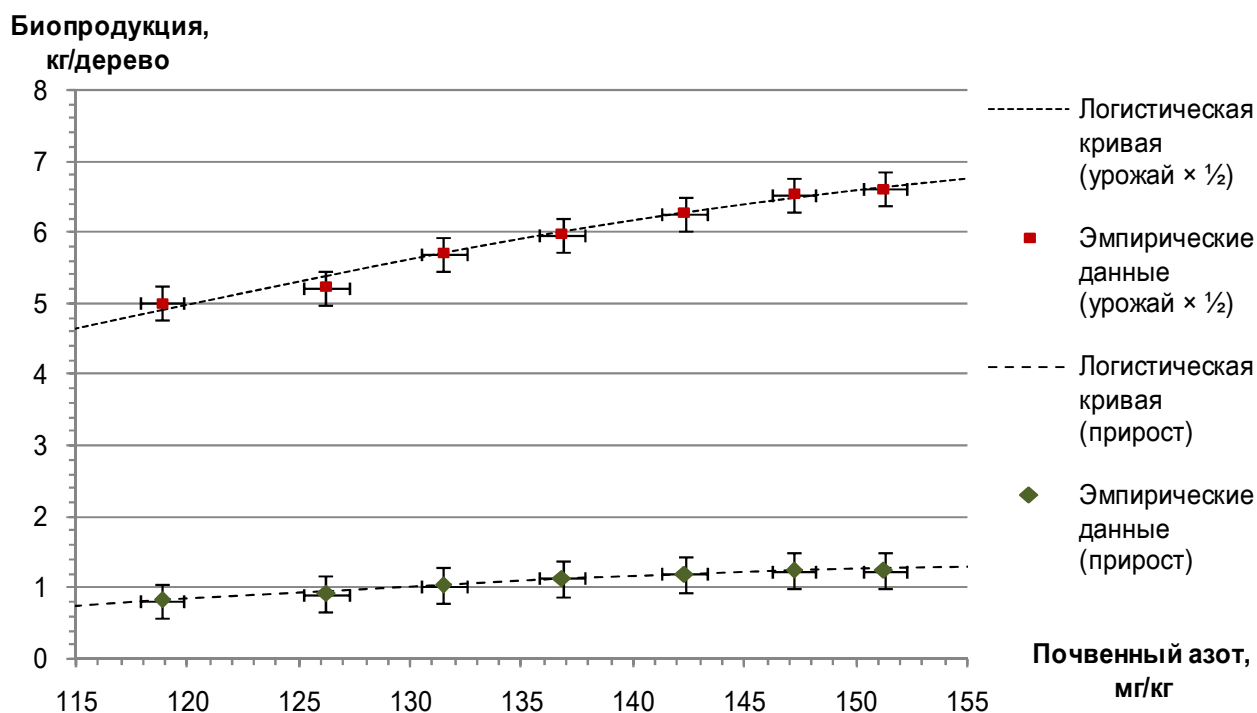


Рисунок 3.2.3.5 – Связь продуктивности деревьев яблони в интенсивном саду с уровнем почвенного азота.

3.2.4 Динамика азота и калия в растениях яблони под влиянием азотных удобрений

В таблице 3.2.4.1 показано содержание азота в листьях сортов яблони на карликовом подвое Парадизка Будаговского в возрастном периоде полного плодоношения в интенсивном саду при внесении в почву возрастающих доз азотных удобрений. У деревьев яблони сорта Лобо в 2020 году доля азота в листьях составляла 2,24%-2,34% сухой массы по всем вариантам и не наблюдалось существенного изменения этого показателя под влиянием азотных удобрений. Значимое увеличение содержания азота в листьях отмечалось, начиная с 2021 г. при внесении высоких доз аммиачной селитры (225 и более кг/га д.в.).

Таблица 3.2.4.1 – Содержание азота в листьях сортов яблони при внесении в почву азотных удобрений, % от сухой массы

Сорта	Варианты	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	$\pm \sigma$
Лобо	Контроль	2,24	2,40	2,65	2,02	2,52	2,37	$\pm 0,25$
	N ₄₅	2,27	2,44	2,68	2,05	2,54	2,40	$\pm 0,24$
	N ₉₀	2,30	2,50	2,71	2,09	2,57	2,43	$\pm 0,24$
	N ₁₃₅	2,31	2,53	2,77	2,11	2,61	2,47	$\pm 0,26$
	N ₁₈₀	2,32	2,54	2,80	2,13	2,61	2,48	$\pm 0,26$
	N ₂₂₅	2,31	2,62	2,81	2,18	2,69	2,52	$\pm 0,26$
	N ₂₇₀	2,34	2,62	2,83	2,20	2,71	2,54	$\pm 0,26$
HCP ₀₅		0,14	0,18	0,13	0,15	0,14	0,13	
Хоней крисп	Контроль	2,36	2,38	2,61	2,12	2,55	2,40	$\pm 0,19$
	N ₄₅	2,38	2,47	2,67	2,20	2,63	2,47	$\pm 0,19$
	N ₉₀	2,46	2,58	2,76	2,32	2,72	2,57	$\pm 0,18$
	N ₁₃₅	2,54	2,60	2,76	2,33	2,75	2,60	$\pm 0,18$
	N ₁₈₀	2,56	2,62	2,77	2,35	2,79	2,62	$\pm 0,18$
	N ₂₂₅	2,56	2,66	2,82	2,38	2,81	2,64	$\pm 0,18$
	N ₂₇₀	2,57	2,68	2,83	2,39	2,83	2,66	$\pm 0,18$
HCP ₀₅		0,19	0,21	0,14	0,18	0,19	0,18	

***жирным шрифтом** выделены значения показателя, существенно превышающие значения в контрольном варианте (здесь и далее)

У деревьев яблони сорта Хоней крисп в первый же год (2020) после внесения азотных удобрений в дозе 180 кг/га д.в. и выше наблюдалось статистически значимое повышение содержания азота в листьях, а в некоторые последующие годы (2022, 2024) – при использовании от 90 кг/га д.в., по сравнению с контролем. Эффект от применения более высоких доз удобрений имел тенденцию к усилению, но такое усиление эффекта по сравнению с первоначальной дозой было не значимым. Наименьшим содержание азота в листьях обоих сортов было в 2020 и 2023 гг., а наибольшим – в 2022 и 2024 гг. (HCP между годами для $p < 0,05$ составляла 0,25%). Это объясняется оттоком азота из листьев при развитии большой массы плодов.

В среднем за 5 лет исследований содержание азота в листьях яблони сорта Лобо по всем вариантам находилось в пределах 2,37%-2,54% сухой массы, сорта Хоней крисп – в пределах 2,40%-2,66%. Существенное увеличение содержания азота в листьях яблони по сорту Лобо (на 6%-8% по сравнению с контролем) в

среднем было отмечено при внесении аммиачной селитры в дозах от 225 кг/га д.в.; по сорту Хоней крисп (на 8%-10%) – при внесении аммиачной селитры в дозах 135 кг/га д.в.

Динамика содержания азота в листьях яблони ($\omega_{Nл}$, % сухого вещества) сорта Лобо хорошо описывается уравнением регрессии – биномом второй степени с коэффициентом детерминации $R^2 \geq 0,96$:

$$\omega_{Nл.(Лобо)} = -4,9 \cdot 10^{-7} x_N^2 + 7,9 \cdot 10^{-4} x_N + 2,355. \quad (3.2.4.1.)$$

$$\omega_{Nл.(Хоней крисп)} = -1,9 \cdot 10^{-6} x_N^2 + 1,4 \cdot 10^{-3} x_N + 2,411. \quad (3.2.4.2.)$$

На рисунке 3.2.4.1 показана модель содержания азота в сухом веществе листьев яблони при внесении в почву азотных удобрений в интенсивном саду, в среднем за 5 лет исследований.

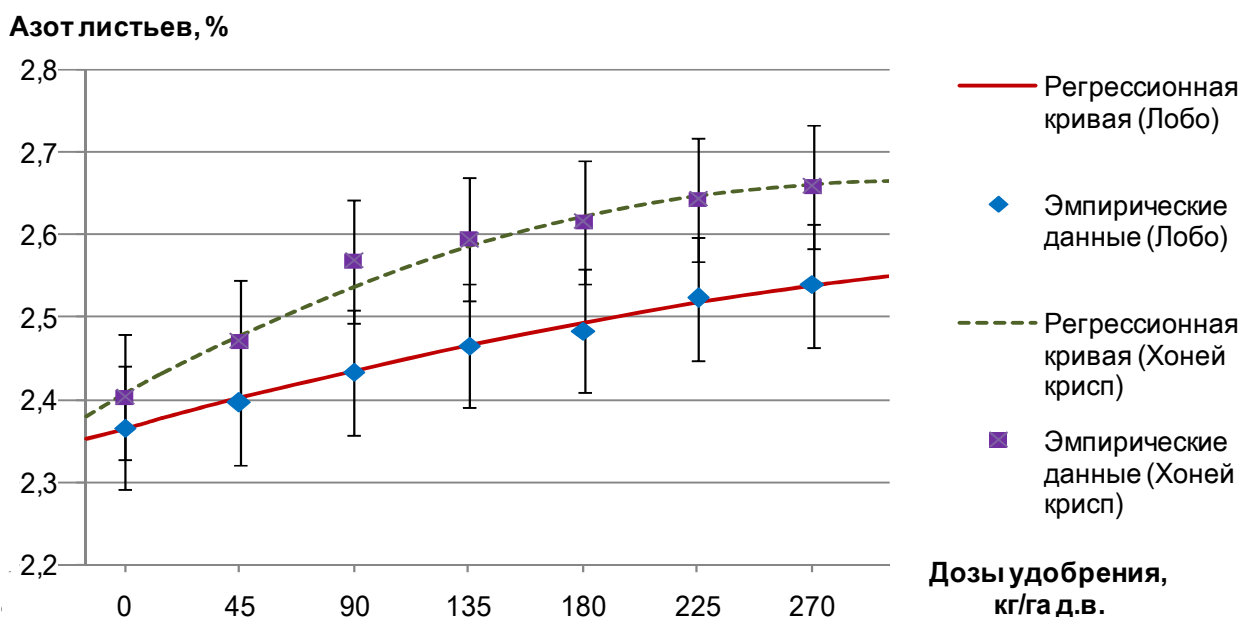


Рисунок 3.2.4.1 – Динамика содержания азота в листьях яблони (% сухого вещества) при внесении в почву азотных удобрений.

Наблюдается почти линейное увеличение показателя до $2,54 \pm 0,15\%$ в листьях яблони сорта Лобо и слегка искривленный график роста содержания азота до $2,66 \pm 0,16\%$ у сорта Хоней крисп. Анализ кривых позволяет констатировать чуть более быстрый рост и большую отрицательную обратную связь у сорта Хоней крисп, однако различия между сортами незначительны. Биологические пределы

исследуемого показателя находятся вне условий, поставленных в опыте (мы наблюдаем интервал квазилинейного роста).

В таблице 3.2.4.2 показано содержание азота в осевых органах деревьев яблони на карликовом подвое Парадизка Будаговского в возрастном периоде полного плодоношения при внесении в почву возрастающих доз азотных удобрений в интенсивном саду.

Таблица 3.2.4.2 – Содержание азота в осевых вегетативных органах яблони при внесении в почву азотных удобрений, % от сухой массы

Сорта	Варианты	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	± σ
Лобо	Контроль	1,60	1,57	1,57	1,55	1,55	2,01	± 0,02
	N ₄₅	1,60	1,58	1,60	1,58	1,59	2,03	± 0,01
	N ₉₀	1,61	1,61	1,65	1,63	1,63	2,07	± 0,02
	N ₁₃₅	1,61	1,62	1,66	1,65	1,67	2,09	± 0,02
	N ₁₈₀	1,62	1,64	1,67	1,68	1,70	2,12	± 0,03
	N ₂₂₅	1,61	1,70	1,72	1,73	1,73	2,16	± 0,05
	N ₂₇₀	1,62	1,72	1,74	1,74	1,76	2,18	± 0,06
HCP ₀₅		0,07	0,13	0,14	0,16	0,16	0,13	
Хоней крисп	Контроль	1,49	1,43	1,47	1,44	1,43	1,85	± 0,03
	N ₄₅	1,50	1,45	1,48	1,47	1,48	1,87	± 0,02
	N ₉₀	1,52	1,49	1,51	1,51	1,53	1,92	± 0,02
	N ₁₃₅	1,51	1,51	1,53	1,54	1,57	1,95	± 0,02
	N ₁₈₀	1,51	1,53	1,55	1,57	1,60	1,98	± 0,04
	N ₂₂₅	1,51	1,59	1,62	1,62	1,67	2,04	± 0,06
	N ₂₇₀	1,51	1,60	1,63	1,63	1,69	2,05	± 0,07
HCP ₀₅		0,06	0,13	0,13	0,14	0,16	0,13	

В осевых органах яблони обоих сортов было отмечено значимое увеличение содержания азота под влиянием удобрений в дозе 225-270 кг/га д.в. с 2021 года.

В среднем за 5 лет исследований содержание азота в осевых органах яблони сорта Лобо при внесении соответствующих доз аммиачной селитры возрастало на 7,4%-8,4%, у яблони сорта Хоней крисп – на 10,2%-10,8% (относительно контроля). Доля азота в сухом веществе осевых органов яблони и реакция на внесение удобрений слабо варьировали по годам, что позволяет думать о незначительном участии этих органов в резервировании азота растениями яблони. При этом не удалось

обнаружить существенных различий в содержании азота в стеблях яблони. Низкие значения азота в сухом веществе стеблей и отсутствие отклика на внесение минеральных удобрений говорят о том, что стебли в наименьшей степени могут быть использованы растениями яблони для резервирования азота.

В таблице 3.2.4.3 показано содержание азота в плодах яблони изучаемых растений при внесении в почву возрастающих доз азотных удобрений в интенсивном саду.

Таблица 3.2.4.3 – Содержание азота в плодах яблони при внесении в почву азотных удобрений, % от сухой массы

Сорта	Варианты	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	± σ
Лобо	Контроль	0,87	0,82	0,77	0,69	0,74	0,78	± 0,07
	N ₄₅	0,86	0,83	0,78	0,72	0,77	0,79	± 0,06
	N ₉₀	0,87	0,85	0,82	0,75	0,81	0,82	± 0,05
	N ₁₃₅	0,86	0,88	0,84	0,77	0,83	0,84	± 0,04
	N ₁₈₀	0,85	0,90	0,85	0,80	0,86	0,85	± 0,04
	N ₂₂₅	0,88	0,93	0,90	0,83	0,90	0,89	± 0,04
	N ₂₇₀	0,86	0,94	0,91	0,85	0,91	0,89	± 0,04
НСР ₀₅		0,05	0,09	0,09	0,09	0,10	0,08	
Хоней крисп	Контроль	0,70	0,69	0,74	0,67	0,69	0,70	± 0,03
	N ₄₅	0,68	0,69	0,75	0,68	0,70	0,70	± 0,03
	N ₉₀	0,69	0,70	0,77	0,70	0,72	0,72	± 0,03
	N ₁₃₅	0,70	0,71	0,78	0,71	0,74	0,73	± 0,03
	N ₁₈₀	0,70	0,72	0,78	0,73	0,76	0,74	± 0,03
	N ₂₂₅	0,72	0,74	0,80	0,75	0,78	0,76	± 0,03
	N ₂₇₀	0,71	0,75	0,81	0,75	0,79	0,76	± 0,04
НСР ₀₅		0,04	0,06	0,07	0,07	0,08	0,06	

Начиная с 2021 года, под влиянием удобрений в дозе 225 кг/га д.в. было отмечено значимое увеличение содержания азота в плодах яблони сорта Лобо и удобрений в дозе 270 кг/га д.в. – в плодах яблони сорта Хоней крисп. В среднем за 5 лет исследований содержание азота в плодах яблони сорта Лобо возрастало на 8,9%-14,1% при внесении доз аммиачной селитры от 180 кг/га д.в., у яблони сорта Хоней крисп – на 8,5%-8,6% при внесении доз аммиачной селитры от 225 кг/га действующего вещества.

На рисунке 3.2.4.2 показана линейная модель содержания азота в сухом веществе осевых органов яблони при внесении в почву азотных удобрений, описываемая уравнением регрессии вида:

$$\omega_{\text{Нос.}} = 0,0006 x_N + c_{\text{сорт}}, \quad (3.2.4.3.)$$

где $c_{\text{сорт}}$ – начальный уровень азота в осевых органах ($1,57 \pm 0,02$ % для сорта Лобо и $1,45 \pm 0,03$ % для сорта Хоней крисп).

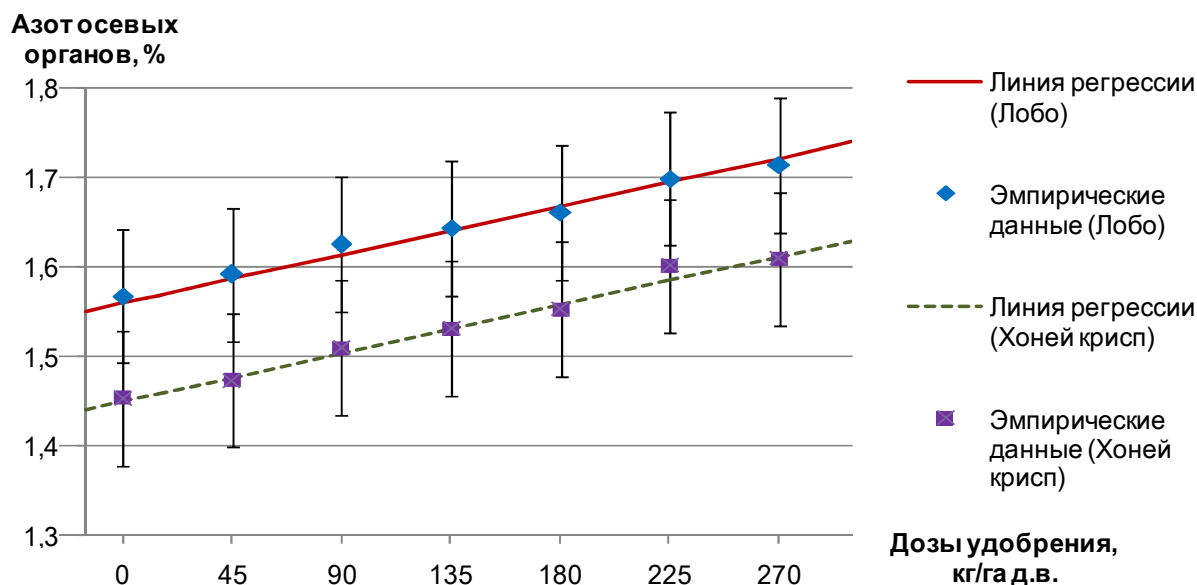


Рисунок 3.2.4.2 – Динамика содержания азота в осевых органах яблони (% сухого вещества) при внесении в почву азотных удобрений.

Коэффициент детерминации $R^2 \geq 0,985$ говорит о тесной связи модели (3.2.4.3.) с эмпирическими данными. Бином второй степени имеет не больший коэффициент детерминации, что делает его применение нецелесообразным.

Динамика содержания азота в плодах яблони (%) при внесении возрастающих доз удобрений описывается уравнениями регрессии вида:

$$\omega_{\text{Пл. (Лобо)}} = 0,0004 x_N + 7,746; \quad (3.2.4.4.)$$

$$\omega_{\text{Пл. (Х. крисп)}} = 0,0002 x_N + 6,927. \quad (3.2.4.5.)$$

На рисунке 3.2.4.3 отражена линейная модель содержания азота в сухом веществе осевых органов яблони при внесении в почву азотных удобрений. Учитывая существование верхних и нижних границ содержания азота в органах яблони,

можно констатировать, что его рост с повышением дозы азотных удобрений в пределах поставленных экспериментальных условий является квазилинейным. Коэффициент детерминации модели $R^2 \geq 0,981$.

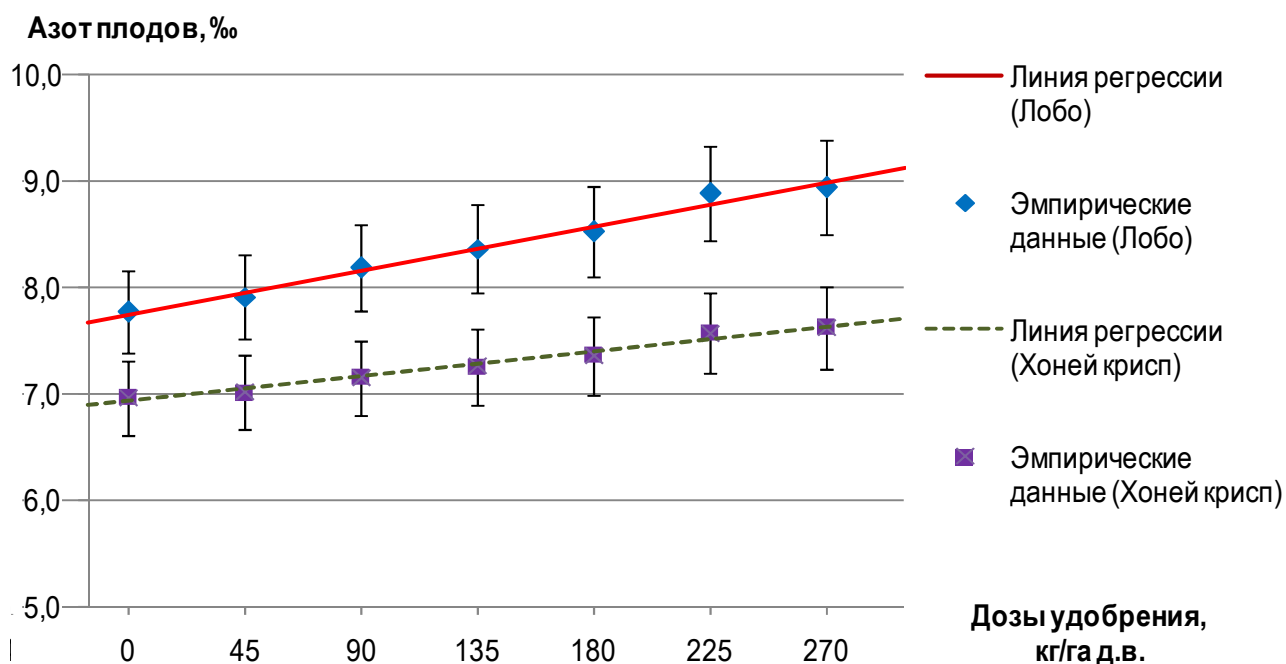


Рисунок 3.2.4.3 – Динамика содержания азота в плодах яблони (‰ сухого вещества) при внесении в почву азотных удобрений.

В таблице 3.2.4.4 показано среднее за 5 лет исследований содержание калия в вегетативных органах и плодах яблони на карликовом подвое при внесении в почву возрастающих доз азотных удобрений.

За период исследований содержание калия в листьях яблони составляло: 1,42%-1,45%; в её стеблях – 0,26%-0,29%; в корнях – 0,34%-0,37%; в плодах – 1,26-1,33%; при этом статистически значимых различий между сортами выявлено не было. Внесение в почву сада азотных удобрений во все годы опыта не оказывало существенного влияния на содержание калия в органах яблони (Трунов и др., 2025 в-г).

Корреляционный анализ позволяет констатировать умеренную отрицательную взаимосвязь ($p \leq 0,01$) между содержанием минеральных элементов в листьях яблони и ее урожайностью, которая объясняется оттоком минеральных веществ из листьев в плоды растений (Таблица 3.2.4.5).

Таблица 3.2.4.4 – Среднее содержание калия в органах яблони при внесении в почву азотных удобрений, % от сухой массы

Сорта	Варианты	Листья	Стебли	Корни	Плоды
Лобо	Контроль	1,429	0,285	0,366	1,313
	N ₄₅	1,430	0,286	0,368	1,311
	N ₉₀	1,430	0,286	0,371	1,308
	N ₁₃₅	1,438	0,287	0,372	1,300
	N ₁₈₀	1,447	0,290	0,374	1,292
	N ₂₂₅	1,430	0,290	0,366	1,279
	N ₂₇₀	1,438	0,288	0,368	1,260
Хоней крисп	Контроль	1,424	0,260	0,345	1,332
	N ₄₅	1,423	0,262	0,345	1,327
	N ₉₀	1,423	0,264	0,346	1,322
	N ₁₃₅	1,428	0,265	0,346	1,317
	N ₁₈₀	1,433	0,266	0,346	1,312
	N ₂₂₅	1,437	0,270	0,347	1,304
	N ₂₇₀	1,434	0,264	0,343	1,302
HCP ₀₅ (по сорту)		0,209	0,026	0,027	0,105
HCP ₀₅ (по дозам)		0,044	0,019	0,020	0,034

Таблица 3.2.4.5 – Связь урожайности и содержания минеральных элементов в вегетативных органах яблони в интенсивном саду (*R*)

Доля элемента		Лобо	Хоней крисп	Среднее
Азот	$\omega_{N_{\text{лист.}}}$	-0,779^{**}	-0,475 ^{**}	-0,629^{**}
	$\omega_{N_{\text{стеб.}}}$	-0,135	-0,050	-0,077
	$\omega_{N_{\text{корн.}}}$	0,154	0,176	0,182
Калий	$\omega_{K_{\text{лист.}}}$	-0,704^{**}	-0,704^{**}	-0,704^{**}
	$\omega_{K_{\text{стеб.}}}$	-0,048	-0,207	-0,103
	$\omega_{K_{\text{корн.}}}$	-0,276	-0,358 [*]	-0,466 [*]

* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$

В отношении калия эта корреляция примерно одинакова у обоих сортов; в отношении азота у сорта Хоней крисп связь слабее, т.к. сорт потребляет меньше азота при формировании плодов. При этом есть тенденция ($p \leq 0,05$) к снижению калия в корнях, которая более заметна у сорта Хоней крисп. Таким образом, в ре-

зервировании азота наиболее активное участие принимают листья, в резервировании калия – листья и в отдельных случаях (и меньшей степени) – корни. Урожай определяет отток этих элементов из вегетативных органов (Трунов, Кузин, Трунов, 2025 а)

Суммарный ежегодный вынос минеральных элементов определяется как сумма ежегодного выноса элементов отдельными органами дерева и зависит от их содержания во вновь образованной биомассе. Часть её изымается с урожаем, часть – фиксируется в одревесневающих органах, и лишь некоторая часть возвращается в почву, имея ограниченную подвижность и доступность.

В таблице 3.2.4.6 показан суммарный вынос азота деревьями яблони при внесении в почву возрастающих доз азотных удобрений.

Таблица 3.2.4.6 – Суммарный вынос азота деревьями яблони при внесении в почву азотных удобрений, кг/га

Сорта	Варианты	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	± σ
Лобо	Контроль	32,5	23,1	22,5	42,4	26,1	29,3	± 8,3
	N ₄₅	31,9	25,2	26,5	45,8	29,0	31,7	± 8,3
	N ₉₀	33,8	27,2	31,5	50,2	32,9	35,1	± 8,8
	N ₁₃₅	33,9	28,8	33,8	52,7	34,5	36,7	± 9,2
	N ₁₈₀	33,4	31,4	36,0	55,4	36,7	38,6	± 9,6
	N ₂₂₅	35,0	33,7	39,8	58,6	38,6	41,2	± 10,1
	N ₂₇₀	33,9	34,6	40,0	59,3	40,0	41,6	± 10,4
НСР ₀₅		3,8	6,8	9,0	9,3	8,4	8,7	
Хоней крисп	Контроль	20,6	26,2	29,9	44,3	26,6	29,5	± 8,9
	N ₄₅	20,5	27,4	33,5	47,3	29,5	31,6	± 9,9
	N ₉₀	21,4	29,8	37,8	51,6	33,4	34,8	± 11,2
	N ₁₃₅	21,8	31,4	40,2	54,0	34,9	36,4	± 11,9
	N ₁₈₀	22,1	33,5	42,6	56,9	36,6	38,3	± 12,8
	N ₂₂₅	22,4	36,0	45,5	58,6	38,9	40,3	± 13,2
	N ₂₇₀	22,7	37,3	45,4	59,5	39,4	40,9	± 13,3
НСР ₀₅		3,3	6,4	8,0	8,9	8,2	8,0	

В 2020 году, в первый год внесения в почву яблоневого сада азотных удобрений, суммарный вынос азота деревьями яблони сорта Лобо находился в пределах

31,9-35,0 кг/га, сорта Хоней крисп – в пределах 20,5-22,7 кг/га. В этом году не установлено влияния внесения азотных удобрений на суммарный вынос азота деревьями яблони обоих сортов.

Значимое увеличение суммарного выноса азота деревьями яблони сорта Лобо наблюдалось на следующий год (2021) после внесения азотных удобрений в дозе 180 кг/га д.в. и выше по сравнению с контролем, а затем и в последующие годы после внесения азотных удобрений 135 кг/га д.в. и выше по сравнению с контролем. Различия между вариантами дозировки удобрений были не значимы.

Аналогичные результаты наблюдались по сорту Хоней Крисп. Значимое увеличение суммарного выноса азота деревьями яблони наблюдалось с 2021 г. после внесения азотных удобрений 180 кг/га д.в. и выше, а в последующие годы, начиная с дозы 135 кг/га д.в. Эффект от применения более высоких доз удобрений имел тенденцию к усилению, оно по сравнению с первоначальной дозой было статистически не значимым.

В среднем за 5 лет исследований суммарный вынос азота деревьями яблони сорта Лобо по всем вариантам находился в пределах 29,3-41,6 кг/га сухой массы, сорта Хоней Крисп – в пределах 29,5-40,9 кг/га (нет значимых различий сортов). Существенное среднее увеличение суммарного выноса азота деревьями яблони сорта Лобо (на 31,7%-42,0%) отмечено при внесении аммиачной селитры в дозе 180 кг/га д.в. и выше. Существенное среднее увеличение суммарного выноса азота по сорту Хоней Крисп (на 29,8%-41,0%) – также при внесении аммиачной селитры в дозе от 180 д.в.

Увеличение дозы удобрения выше минимально эффективной по каждому сорту не приводило к существенному пропорциональному увеличению суммарного выноса азота деревьями яблони, что свидетельствует о наличии нелинейной зависимости между дозой вносимых азотных удобрений и суммарным выносом азота деревьями яблони на карликовых подвоях.

На рисунке 3.2.4.4 показана модель суммарного выноса азота деревьями яблони при внесении в почву азотных удобрений (в среднем за 5 лет).

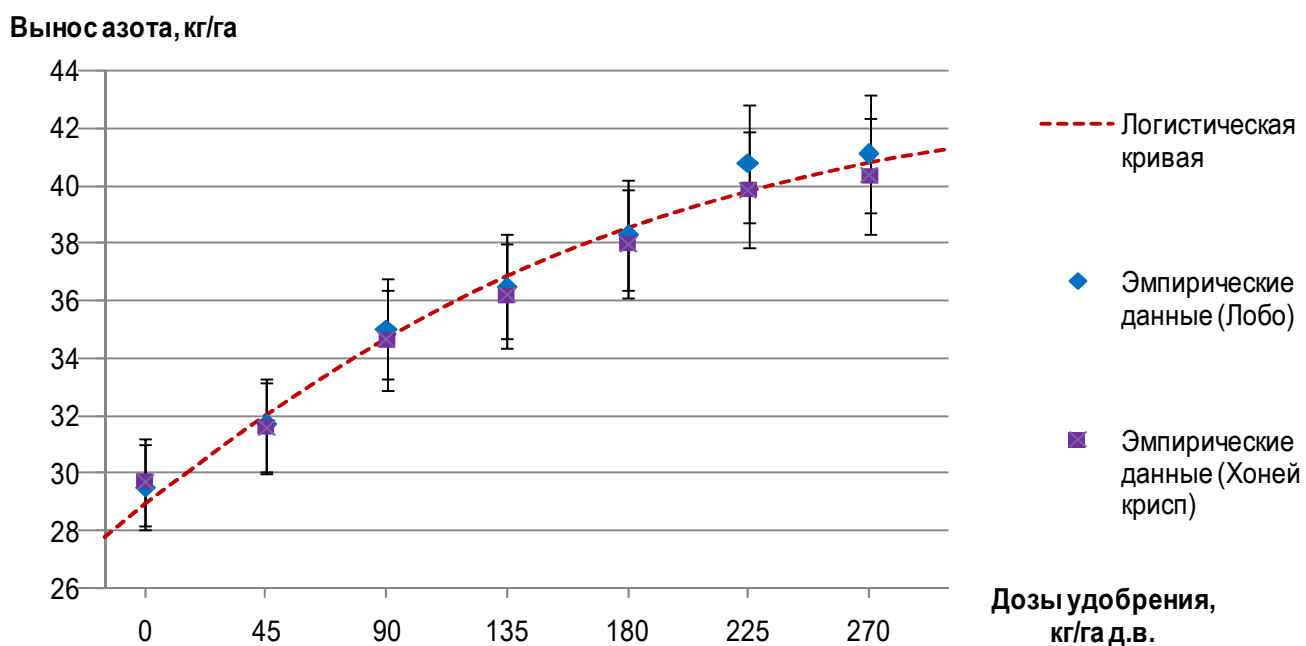


Рисунок 3.2.4.4 – Динамика суммарного выноса азота деревьями яблони при внесении в почву азотных удобрений (в среднем за 5 лет, кг/га).

Динамика суммарного выноса азота деревьями яблони в условиях интенсивного сада под действием азотных удобрений выражается логистическим уравнением регрессии, параметры которого практически одинаковы для обоих исследованных сортов:

$$B_N = K_N / (0,0115 K_N \times e^{-0,0077 \times x_N} + 1), \quad (3.2.4.4.)$$

где: B_N – вынос азота растениями (кг/га), x_N – доза азотных удобрений, K_N – предел (ёмкость) выноса минерального элемента деревьями в данных условиях – параметр, составляющий для исследованных сортов на карликовом подвое ~42,8-43,8 кг/га в среднем за 5 лет в условиях интенсивного сада. Коэффициент корреляции Пирсона для модели (3.2.4.4.) составляет не менее 0,985, соответственно, коэффициент детерминации $R^2 \geq 0,970$.

Суммарный вынос калия деревьями яблони при внесении в почву азотных удобрений показан в таблице 3.2.4.7.

В 2020 году суммарный вынос калия деревьями яблони существенно не изменялся при внесении в почву азотных удобрений, составляя 42,7-44,1 кг/га у сорта Лобо и 29,6-30,9 кг/га у сорта Хоней крисп. В 2021 году средние показатели выноса калия у сорта Лобо имели тенденцию к снижению по сравнению с предыдущим, а у

сорта Хоней крисп, наоборот, – тенденцию к повышению. При этом в опыте с высокими дозами азотных удобрений у обоих сортов отмечался существенный рост выноса калия.

Таблица 3.2.4.7 – Суммарный вынос калия деревьями яблони при внесении в почву азотных удобрений, кг/га

Сорта	Варианты	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	± σ
Лобо	Контроль	43,2	30,5	26,4	71,3	36,1	41,5	± 17,8
	N ₄₅	42,3	31,4	28,8	74,6	38,6	43,1	± 18,4
	N ₉₀	43,9	32,9	32,2	78,4	42,1	45,9	± 18,9
	N ₁₃₅	44,1	33,2	32,7	78,0	42,5	46,1	± 18,6
	N ₁₈₀	43,7	34,6	34,0	78,6	44,2	47,0	± 18,3
	N ₂₂₅	44,2	33,5	37,1	79,5	45,0	47,9	± 18,4
	N ₂₇₀	42,7	33,9	36,6	78,1	44,4	47,1	± 17,8
НСР ₀₅		2,1	3,0	6,1	6,2	5,7	4,4	
Хоней крисп	Контроль	29,6	39,7	38,9	82,6	41,6	46,5	± 20,7
	N ₄₅	29,7	40,4	41,1	84,1	43,6	47,8	± 21
	N ₉₀	30,3	41,9	44,2	87,2	47,2	50,2	± 21,7
	N ₁₃₅	30,4	41,7	45,3	88,4	47,3	50,6	± 22,1
	N ₁₈₀	30,7	42,8	46,8	90,5	48,2	51,8	± 22,7
	N ₂₂₅	30,3	43,0	47,6	90,6	50,2	52,3	± 22,7
	N ₂₇₀	30,9	43,4	47,3	91,9	49,4	52,6	± 23,1
НСР ₀₅		2,3	3,2	6,7	6,5	5,8	4,6	

В 2022 году существенное увеличение выноса калия наблюдалось у обоих сортов при внесении азотных удобрений в дозе от 180 кг/га д.в. (у сорта Лобо значимая реакция на эту дозу проявлялась и в 2021 году). В последующие годы статистически значимое повышение выноса калия растениями сорта Лобо наблюдалось уже при внесении минерального азота от 90 кг/га д.в., причём различия между вариантами дозировки удобрений были незначимы. У яблони сорта Хоней крисп вынос калия существенно возрастал только при внесении минерального азота от 180 кг/га д.в. и выше (как и в 2022 году).

В среднем за 5 лет исследований суммарный вынос калия деревьями яблони сорта Лобо по всем вариантам находился в пределах 41,5-47,9 кг/га, сорта Хоней крисп – в пределах 46,5-52,6 кг/га.

Существенное увеличение среднего за 5 лет суммарного выноса калия деревьями яблони отмечено: по сорту Лобо на 11,1%-15,4% – при внесении аммиачной селитры от 135 кг/га д.в.; по сорту Хоней крисп на 11,4%-13,1% – при внесении аммиачной селитры от 180 кг/га д.в. и выше. Повышение дозы азотных удобрений до 270 кг/га д.в. не приводило к значимому увеличению суммарного выноса калия деревьями яблони на карликовых подвоях.

Динамика суммарного выноса калия (Рисунок 3.2.4.5) в условиях интенсивного сада под действием азотных удобрений деревьями яблони выражается логистическими уравнениями регрессии для сортов:

$$B_K(\text{Лобо}) = 48,6 / (0,152 \times e^{-0,0078 \times x_N} + 1). \quad (3.2.4.5)$$

$$B_K(\text{Хоней крисп}) = 53,3 / (0,16 \times e^{-0,0103 \times x_N} + 1). \quad (3.2.4.6)$$

Коэффициенты детерминации для моделей (3.2.4.5., 3.2.4.6.) $R^2 \geq 0,824$, что говорит о достаточной связи с эмпирическими данными.

Вынос калия, кг/га

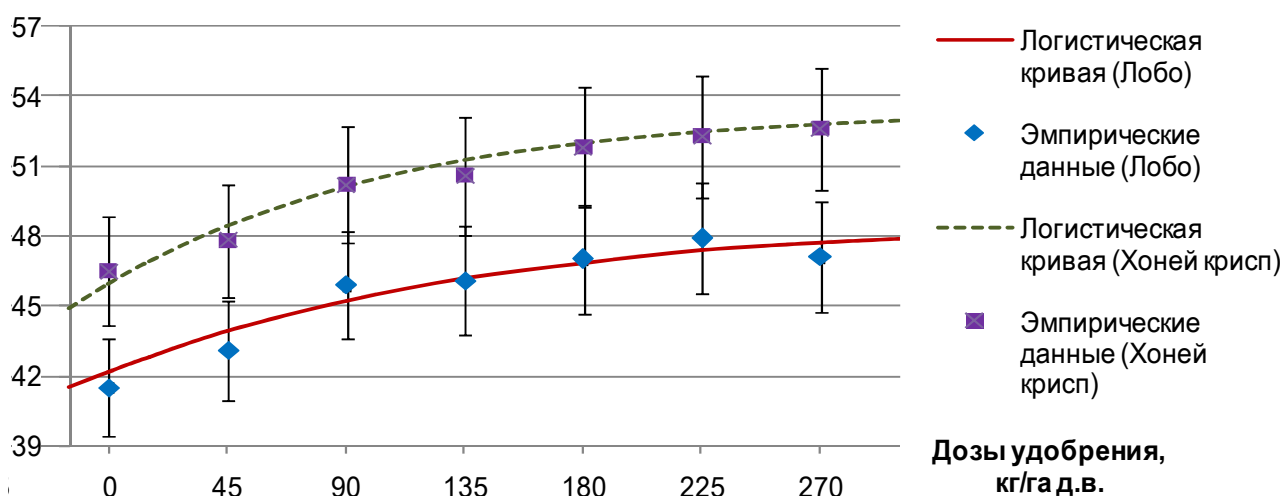


Рисунок 3.2.4.5 – Динамика суммарного выноса калия деревьями яблони при внесении в почву азотных удобрений (в среднем за 5 лет, кг/га).

Корреляционный анализ подтверждает, что вынос азота и калия деревьями яблони в интенсивном саду на карликовом подвое Парадизка Будаговского тесно связан с величиной урожая плодов (коэффициенты корреляции выше 0,92). Следовательно, потребность деревьев яблони в элементах питания можно выразить через вынос этих элементов с урожаем (прежде всего), а также с вегетативной

биомассой. Прирост вегетативной биомассы также связан с выносом элементов, но связь слабее (коэффициенты корреляции составляют 0,67-0,73), что объясняется ролью резерва элементов питания.

Потребление минерального элемента растениями мы определяли как отношение величины суммарного ежегодного выноса к величине суммарного ежегодного прироста биомассы деревьев. В таблице 3.2.4.8 показано потребление азота деревьями яблони при внесении в почву азотных удобрений.

Таблица 3.2.4.8 – Потребление азота деревьями яблони при внесении в почву азотных удобрений, г/кг сухой массы (‰)

Сорта	Варианты	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	± σ
Лобо	Контроль	4,10	3,14	2,93	3,71	2,90	3,36	± 0,53
	N ₄₅	4,05	3,36	3,27	3,81	3,03	3,50	± 0,42
	N ₉₀	4,16	3,50	3,64	3,96	3,21	3,69	± 0,38
	N ₁₃₅	4,13	3,64	3,75	4,04	3,24	3,76	± 0,35
	N ₁₈₀	4,08	3,86	3,87	4,15	3,33	3,86	± 0,32
	N ₂₂₅	4,24	4,17	4,13	4,28	3,42	4,05	± 0,36
	N ₂₇₀	4,14	4,24	4,17	4,36	3,55	4,09	± 0,32
НСР ₀₅		0,24	0,93	0,91	0,51	0,51	0,58	
Хоней крисп	Контроль	2,95	3,09	3,37	3,70	2,88	3,20	± 0,34
	N ₄₅	2,92	3,19	3,59	3,79	3,01	3,30	± 0,37
	N ₉₀	3,01	3,40	3,83	3,93	3,20	3,47	± 0,4
	N ₁₃₅	3,04	3,53	3,93	3,96	3,20	3,53	± 0,42
	N ₁₈₀	3,06	3,70	4,05	4,06	3,26	3,62	± 0,46
	N ₂₂₅	3,11	3,94	4,22	4,11	3,37	3,75	± 0,48
	N ₂₇₀	3,13	4,05	4,23	4,15	3,42	3,80	± 0,49
НСР ₀₅		0,21	0,90	0,82	0,42	0,49	0,55	

В ходе исследования установлено, что внесение в почву яблоневого сада азотных удобрений не оказывало влияния на потребление азота деревьями яблони в первый год, а в последующие годы наблюдалась тенденция к повышению этого показателя при внесении высоких доз аммиачной селитры (от 225 кг/га д.в.). Более слабым этот эффект был у сорта Хоней крисп (~17%-19%) по сравнению с сортом Лобо (~20%-22%) и меньше проявлялся в урожайные годы (2020, 2023), таким образом рост потребления азота обусловлен отклонениями в его гомеостазе при резервировании в вегетативных органах.

Достоверных различий в общем уровне потребления азота между исследуемыми сортами, а также в разные годы обнаружить не удалось.

В таблице 3.2.4.9 показано потребление калия деревьями яблони при внесении в почву азотных удобрений. За все годы исследования внесение в почву яблоневого сада азотных удобрений не оказало влияния на потребление калия деревьями яблони. Различия в среднем потреблении калия между сортами также были статистически не значимы. Значимое повышение потребления калия в среднем по всем вариантам опыта наблюдалось в 2023 году, что, по-видимому, объясняется активным образованием плодов у деревьев обоих сортов.

Таблица 3.2.4.9 – Потребление калия деревьями яблони при внесении в почву азотных удобрений, г/кг сухой массы (‰)

Сорта	Варианты	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	$\pm \sigma$
Лобо	Контроль	5,44	4,14	3,44	6,23	4,01	4,65	$\pm 1,15$
	N ₄₅	5,38	4,18	3,55	6,20	4,02	4,66	$\pm 1,09$
	N ₉₀	5,40	4,23	3,71	6,19	4,10	4,73	$\pm 1,03$
	N ₁₃₅	5,38	4,19	3,63	5,98	3,98	4,63	± 1
	N ₁₈₀	5,35	4,25	3,64	5,89	4,01	4,63	$\pm 0,95$
	N ₂₂₅	5,36	4,15	3,84	5,82	3,99	4,63	$\pm 0,9$
	N ₂₇₀	5,22	4,15	3,82	5,73	3,93	4,57	$\pm 0,86$
НСР ₀₅		0,17	0,22	0,48	0,55	0,31	0,21	
Хоней крисп	Контроль	4,24	4,69	4,39	6,90	4,50	4,94	$\pm 1,11$
	N ₄₅	4,23	4,71	4,41	6,73	4,46	4,91	$\pm 1,04$
	N ₉₀	4,27	4,78	4,48	6,64	4,52	4,93	$\pm 0,97$
	N ₁₃₅	4,25	4,69	4,43	6,50	4,34	4,84	$\pm 0,94$
	N ₁₈₀	4,26	4,72	4,46	6,46	4,30	4,84	$\pm 0,92$
	N ₂₂₅	4,21	4,71	4,41	6,36	4,35	4,81	$\pm 0,89$
	N ₂₇₀	4,26	4,71	4,40	6,41	4,29	4,81	$\pm 0,91$
НСР ₀₅		0,10	0,14	0,24	0,52	0,27	0,19	

Таким образом, экспериментальным путём установлено, что внесение в почву эффективной дозы азотных удобрений (180 кг/га д.в.) способствует существенному увеличению суммарного выноса по сравнению с вариантом без внесения удобрений: азота – на 30,7-40,5% (в среднем на 35,6%); калия – на 11,3-14,2% (в среднем на 12,7%).

При этом вынос элементов минерального питания (N, K) под действием азотных удобрений повышается, в первую очередь, за счет роста биологической продукции деревьев яблони и лишь при высоких дозах удобрений – за счет роста их потребления.

По данным исследования, средняя доля азота (ω_N) в плодах яблони составляет $0,834 \pm 0,071\%$ (сырого вещества); в вегетативной массе яблони – $4,304 \pm 0,911\%$; средняя доля калия (ω_K) в плодах составляет $1,402 \pm 0,193\%$; в вегетативной массе яблони – $2,305 \pm 0,536\%$.

Расчет будущего выноса минеральных элементов может базироваться на прогнозе величины биологической продукции яблони в предстоящем году, включающей урожай и прирост вегетативной биомассы, и на определении массовой доли элементов в этой продукции.

3.3 Расчет биологически обоснованных доз удобрений и оценка эффективности их применения в интенсивном саду

3.3.1 Сравнительная оценка методов расчета доз удобрений

В садоводстве для расчёта и корректировки доз вносимых удобрений наиболее широкое распространение и применение получил *метод почвенно-листовой диагностики* (Кондаков, 1981; 1999; 2001; 2002; 2007), базирующийся на рекомендованных научно-исследовательскими учреждениями средних дозах для конкретной почвенно-климатической зоны.

Для контроля за состоянием почвенного питания растений проводят определение концентрации минеральных элементов в корнеобитаемом слое почвы и принимают решение о необходимости внесения удобрений. А.К. Кондаков реко-

мендует использовать базовую дозу макроэлементов $N_{90}P_{30}K_{120}$ для внесения в плодоносящих яблоневых садах ЦЧР. Базовые дозы удобрений следует вносить рано весной, до начала вегетационного периода.

Если концентрация элемента в почве больше оптимальной концентрации для данной культуры, то вносить удобрения в почву нет необходимости для растений и экономически нецелесообразно. Если концентрация элемента в почве ниже оптимальной концентрации, то необходимо внести определённое количество удобрений для повышения содержания элементов в почве до минимального необходимого оптимального уровня.

Оптимальное содержание элементов в листьях говорит о том, что растения успешно поглощают эти элементы из почвы. На основании табличных данных (Таблицы 2.2.1 и 2.2.2), с использованием поправочных коэффициентов к рекомендованной базовой дозе элементов (Таблица 3.3.1) принимают решение о необходимости и количестве внесения удобрений.

Таблица 3.3.1 – Поправочные коэффициенты к базовой дозе удобрений (по А.К. Кондакову, 2001, 2007)

Содержание в почве	Валовое содержание элементов в листьях		
	Недостаточное	Оптимальное	Избыточное
Низкое	2,0	1,0	Удобрений не требуется
Среднее	1,5	0,5	
Высокое	1,0	-	

Проведём расчёт доз удобрений по методу почвенно-листовой диагностики для условий эксперимента по состоянию на 2023 год (таблица 3.3.2).

Таблица 3.3.2 – Оценка содержания азота и калия по методу почвенно-листовой диагностики

Диагностический показатель	Содержание азота			Содержание калия		
	Содержание	Оптимум	Оценка	Содержание	Оптимум	Оценка
Содержание в почве, мг/кг	124	150	<i>Низкое</i>	73	80	<i>Низкое</i>
Содержание в листьях, %	2,21	2,40	<i>Дефицит</i>	1,04	1,60	<i>Дефицит</i>

Основные показатели в 2023 году на опытном участке составили:

Содержание азота в почве – 124 мг/кг (среднее).

Содержание калия в почве – 73 мг/кг (низкое).

Содержание азота в листьях яблони – 2,21% (недостаточное).

Содержание калия в листьях яблони – 1,04% (недостаточное).

Таким образом, по методу почвенно-листовой диагностики получаем дозы удобрений:

Азот: $90 \times 1,5 = 135$ кг/га д.в. ($\sim N_{135}$)

Калий: $120 \times 2 = 240$ кг/га д.в. ($\sim K_{240}$)

В результате проведенных исследований на основе полученных опытных данных в почвенно-климатических условиях Центрально-Черноземного региона предлагается проводить расчёт доз удобрений, основываясь на дополненном методе *элементного баланса* (Ю.В. Трунов, 2016) с использованием поправочных коэффициентов, учитывающих содержание элементов минерального питания в корнеобитаемом слое почвы и прогнозируемый биологический вынос этих элементов.

В соответствии с данным методом расчетная доза удобрений включает базовую дозу, к которой добавляется дополнительная доза удобрений для компенсации выноса элементов минерального питания растениями. Базовая доза удобрений, повышающая содержание в почве элемента до её оптимального значения для яблони, рассчитывается по формуле (2.3.3.) с добавлением поправочного коэффициента для компенсации индуцированных потерь (3.2.8.). Для учета выноса элемента с урожаем и вегетативной биомассой рекомендуется проводить расчет доз удобрений по формуле, включающей дополнительную дозу:

$$y_{\Sigma} = q_{\Pi} \cdot (y_0 + y_1), \quad (3.3.1.)$$

где: y_{Σ} – суммарная доза удобрений (кг/га); y_0 – *базовая* доза удобрений, равная произведению дефицита элемента ($d\omega_{(почв.)}$) на массовый коэффициент корнеобитаемого слоя почвы (K_m); y_1 – *дополнительная* доза удобрений, равная прогнозируемому выносу элемента в предстоящем году; q_{Π} – коэффициент компенсации индуцированных потерь элемента.

Для компенсации выноса минеральных элементов питания (N, K) с биомассой плодов и вегетативных органов яблони необходимо прогнозировать величину её биологической продукции в предстоящем году.

Исходя из этого:

$$y_1 = PPP \cdot (M_{yp.} \cdot \omega_{(yp.)} + \Delta M_{вез.} \cdot \omega_{(вез.)}) / 1000, \quad (3.3.2.)$$

где: $M_{yp.}$ – масса прогнозируемого урожая (кг/дер.); $\Delta M_{вез.}$ – масса прогнозируемого вегетативного прироста (кг/дер.); ω – массовая доля элемента в соответствующей биологической продукции яблони (‰, или г/кг); PPP – плотность посадки (дер./га).

Прогноз биологической продукции, $M_{yp.}$ и $\Delta M_{вез.}$ предлагается рассчитывать на основе уравнений двухфакторной регрессии к функциям – массы биопродукции от развития деревьев и от доли элемента в почве. В качестве показателя развития мы использовали диаметр штамба ($Ш_{\emptyset}$), так как он тесно коррелирует с возрастом ($R^2 = 0,994$) и биомассой деревьев ($R^2 = 0,889$).

Зависимость продукции урожая от диаметра штамба описывается логистической кривой регрессии вида:

$$f_{y1} (Ш_{\emptyset}) = 19,2 / (95,789 e^{-0,092 Ш_{\emptyset}} + 1) + 0,35. \quad (3.3.3.)$$

Коэффициент детерминации модели составляет $R^2 = 0,774$, таким образом, она прогнозирует свыше $\frac{3}{4}$ дисперсии эмпирических данных.

Зависимость продукции урожая от почвенного азота описывается логистической кривой регрессии вида:

$$f_{y2} (\omega_{N(почв.)}) = 12,2 / (149,755 e^{-0,044 \omega_{N(почв.)}} + 1) + 3,08. \quad (3.3.4.)$$

Коэффициент детерминации модели составляет $R^2 = 0,984$, таким образом, она предсказывает более 98% дисперсии эмпирических данных.

Обобщенное уравнение двухфакторной регрессии описывается выражением вида:

$$M_{yp.} = 0,651 f_{y1} (Ш_{\emptyset}) + 0,453 f_{y2} (\omega_{N(почв.)}) - 3,67. \quad (3.3.5.)$$

Коэффициент детерминации (R^2) составляет 0,287, коэффициент корреляции Пирсона – $R = 0,536$, что говорит об умеренной связи с эмпирическими данными, более 70% дисперсии которых объясняется не входящими в формулу факторами. В первую очередь, к таким факторам относятся сортовая специфика и погодные условия.

Зависимость вегетативной продукции от диаметра штамба более сложна. Она удовлетворительно описывается уравнением второй степени с вложенной логистической функцией:

$$f_{п1} (Ш_{\phi}) = \frac{10,086}{44,7e^{-(Ш_{\phi} / 7,5)} + 1} - \frac{7,565}{(44,7e^{-(Ш_{\phi} / 7,5)} + 1)^2} - 1,888 \quad (3.3.6.)$$

Зависимость вегетативной продукции от почвенного азота описывается логистической кривой регрессии вида:

$$f_{п2} (\omega_{N(почв.)}) = 1,1 / (2258,443 e^{-0,064 \omega_{N(почв.)}} + 1) + 0,305. \quad (3.3.7.)$$

Коэффициент детерминации модели (3.3.7.) составляет: $R^2 = 0,984$, таким образом, она предсказывает более 98% дисперсии эмпирических данных. Общее уравнение двухфакторной регрессии описывается выражением вида:

$$\Delta M_{вег.} = 0,341 f_{п1} (Ш_{\phi}) + 0,742 f_{п2} (\omega_{N(почв.)}) - 0,009. \quad (3.3.8.)$$

Коэффициент детерминации двухфакторной модели: $R^2 = 0,344$, коэффициент корреляции Пирсона составляет 0,586, – что говорит об умеренной связи с эмпирическими данными, более 65% дисперсии которых объясняется не входящими в формулу факторами.

Полученная теоретическая модель базируется на усредненной норме и имеет максимум значений, не превышающий ~16 кг плодов на дерево. Эмпирический разброс продуктивности яблони в интенсивном саду в исследованиях по 2 сортам был равен $\pm 4,82$ кг/дерево, в исследованиях по 6 сортам (более длительном) – $\pm 15,61$ кг/дерево.

Учитывая, что внешние факторы вносят не менее $\frac{2}{3}$ дисперсии данных, диапазон от 0 до 16 можно расширить примерно в 1,7 раза, введя поправки на сортовую специфику (Таблица 3.3.3).

Таблица 3.3.3 – Поправочные коэффициенты для расчета продукции отдельных сортов в соотношении со средней прогнозируемой величиной

Сорт	Коэффициент "b"	Поправка "c"	Корреляция со средним
Альва	1,0	0	0,948
Беркутовское	0,7	+ 0,6	0,963
Лигол	1,5	– 0,5	0,960
Лобо	1,1	– 0,3	0,986
Спартан	0,8	– 0,1	0,989
Хоней крисп	0,8	+ 0,4	0,960

Колебания массы продукции между максимально урожайным годом и средним уровнем за 5 лет по данным наблюдений (2019-2023 гг.) составляли до ~58%, стандартное отклонение – ~34% от среднего. По данным опытов (2020-2024 гг.) в пределах каждого уровня вносимого азота соответствующие колебания составляли ~47%-85% (в среднем, 71%), а величина стандартного отклонения – ~29%-50% от среднего (в среднем, 42%). Так как расчетная модель отражает норму реакции, а не генетический максимум, то мы можем предполагать уменьшение или увеличение урожайности примерно на $\frac{2}{3}$ от расчетного под действием погодных факторов. Обобщенно:

$$M_{ур.(сорт)} = (b_{(сорт)} \times M_{ур.} + c_{(сорт)}) \times q_w, \quad (3.3.9.)$$

где: $M_{ур.}$ – средняя масса прогнозируемого урожая (кг/дер.); $M_{ур.(сорт)}$ – уточненная для данного сорта масса прогнозируемого урожая (кг/дер.); $b_{(сорт)}$ – сортовой коэффициент урожайности; $c_{(сорт)}$ – сортовая поправка; q_w – поправка на погодные условия ($\pm 67\%$).

На рисунке 3.3.1 отражена совокупность основных показателей, определяющих расчетную дозу минеральных удобрений для интенсивного сада.

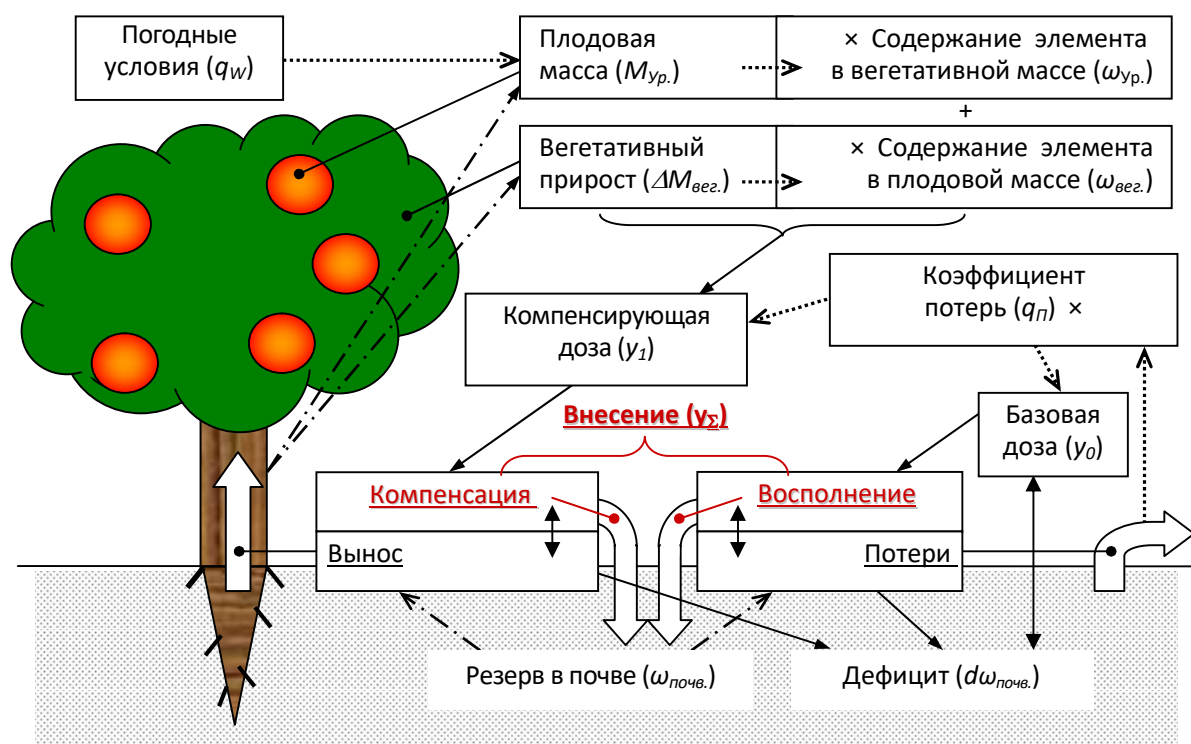


Рисунок 3.3.1 – Обобщенная модель расчетов дозирования минеральных удобрений в интенсивном саду.

Условные обозначения:

- « \longleftrightarrow » – непосредственный вклад (суммация);
- « \dashrightarrow » – опосредованный вклад (пропорционирование);
- « \dashrightarrow » – нелинейное влияние (логистические и т.п. связи);
- « \longleftrightarrow » – комплементарное (зеркальное) соотношение;
- « \rightleftarrows » – движение в системе; « \bullet » – название компонента.

Требуемая доза удобрений складывается из базовой и компенсирующей доз. Последняя зависит от прогноза биологической продукции, на которую, в свою очередь, влияет уровень азота в почве и степень физического развития растения.

Приведем примеры расчетов.

Содержание азота в почве исследуемого участка $\omega_{N(почв.)} = 124,1$ мг/кг, содержание калия – $\omega_{K(почв.)} = 73,3$ мг/кг. Средний диаметр штамба исследуемых растений яблони – $Ш_{\sigma} = 59,2$ мм. Коэффициент компенсации индуцированных потерь для азота: $q_{П(N)} = 2,08$; для калия: $q_{П(K)} = 1,64$. Плотность почвы $\rho = 1250$ кг/м³, высота корнеобитаемого слоя – 0,6 м. Дефицит азота $d\omega_N$ в почве как таковой отсутствует, дефицит калия $d\omega_K$ составляет 6,7 мг/кг.

Базовая доза азотных удобрений – нулевая.

Базовая доза калийных удобрений:

$$6,7 \times 1250 \times 0,6 \times 1,64 = 8241 \text{ мг/м}^2 (\sim 82 \text{ кг/га}) \text{ д.в.}$$

Прогнозируемый урожай в 2024 г. без учета погодных условий должен составлять, в соответствии с формулами регрессии: $M_{ур.} = 11,8$ кг/дер., что при посадке 2500 дер./га соответствует урожайности 29,5 т/га; ожидаемый прирост биомассы – 0,85 кг/дер. Поскольку из-за майских заморозков произошло поражение не менее трети завязей, внесём поправку на погодные условия $a_W = 66,7\%$. Тогда прогнозируемый урожай будет составлять 19,8 т/га, вынос азота с плодами ($B_{N_{ур.}}$) = 16,5 кг/га; вынос азота с вегетативной массой ($B_{N_{вег.}}$) = 9,1 кг/га.

Суммарное количество азотных удобрений с учетом индуцированных потерь будет равно: $(16,5 + 9,1) \times 2,08 = 53$ кг/га д.в. Вынос калия с плодами ($B_{K_{ур.}}$) = 27,8 кг/га; вынос калия с вегетативной массой ($B_{K_{вег.}}$) = 4,9 кг/га; суммарное количество калийных удобрений для компенсации выноса будет: $(27,7 + 4,9) \times 1,64 = 53$ кг/га д.в.

Таким образом, итоговая доза удобрений будет включать 53 кг/га д.в. азотных удобрений и 129 кг/га д.в. калийных удобрений ($N_{53}K_{135}$).

Данные дозы удобрений обеспечивают их минимальную эффективность и максимальную стабильность системы «почва-растение». Если стоит задача повысить урожай, например, за счет повышения доз азотных удобрений, то содержание азота в почве участка нужно сравнивать не с эталоном, а уровнем, обеспечивающим нужную урожайность. Так, например, в 2023 году урожайность яблони сорта Лигол превышала 75 т/га в связи с благоприятными условиями. Заложим улучшенные на 60% условия ($q_W = 160\%$).

Урожайности в 75 т/га при таких условиях от сорта Лигол можно добиться при содержании азота в почве на уровне 130 мг/кг. Яблони сорта Лигол в 2023 году развивали диаметр штамба в среднем около 63 мм. Прогнозируемое производство биомассы такими деревьями составляет около 30 кг плодов и около 860 г. вегетативного прироста. Суммарный вынос азота – 71,9 кг/га; калия – 110,3 кг/га. Дефи-

цит азота в почве будем считать от целевого содержания: $d\omega_N = 5,9$ мг/кг, дефицит калия $d\omega_K = 6,7$ мг/кг (тот же).

Доза азотных удобрений будет составлять:

$$2,08 \times (5,9 \times 7,5 + 71,9) = 241,59 \text{ кг/га } (\sim N_{242}).$$

Доза калийных удобрений будет составлять:

$$1,64 \times (6,7 \times 7,5 + 110,6) = 263,7 \text{ кг/га } (\sim K_{264}).$$

При средних погодных условиях ($q_w = 100\%$) у яблони сорта Лобо с диаметром штамба в 59 мм при планировании урожайности в 32,5 т/га (обычный для сорта уровень) требуется поддержание почвенного азота на уровне 127,9 мг/кг. Дефицит азота в почве (от целевого содержания): $d\omega_N = 3,8$ мг/кг, дефицит калия $d\omega_K = 6,7$ мг/кг. Тогда доза удобрений будет составлять:

$$\text{Азотных: } 2,08 \times (3,8 \times 7,5 + 36,4) = 135,2 \text{ кг/га } (\sim N_{135}).$$

$$\text{Калийных: } 1,64 \times (6,7 \times 7,5 + 50,5) = 165,4 \text{ кг/га } (\sim K_{165}).$$

При планировании средней урожайности яблок 40 т/га (без учета сорта) требуются погодные условия лучше средних ($q_w = 133\%$), в этом случае добиться такой урожайности можно при содержании в почве 128 мг/кг азота. При исходном содержании азота 124,1 мг/кг почвы, калия – 73,3 мг/кг почвы на экспериментальном участке интенсивного сада в ЗАО «Агрофирма имени 15 лет Октября», путем расчётов получаем дозы удобрений:

$$\text{Азотных: } 2,08 \times (3,9 \times 7,5 + 42,9) = 150,1 \text{ кг/га } (\sim N_{150}).$$

$$\text{Калийных: } 1,64 \times (6,7 \times 7,5 + 61,4) = 161,33 \text{ кг/га } (\sim K_{161}).$$

Сравнительная оценка методов расчёта доз вносимых удобрений показывает, что при плановой урожайности яблок 20 т/га расчётная доза вносимого калия по методу элементного баланса ниже в 1,75 раз, а расчётная доза вносимого азота – в 2,5 раз, по сравнению с методом листовой диагностики. При плановой урожайности 32 т/га доза азота получается одинаковой по обоим методам, а доза калия – почти в полтора раза ниже. При планировании урожайности от 40 т/га и выше метод почвенно-листовой диагностики не работает, так как не учитывает возрастающий расход элементов на вынос с урожаем.

Для экспериментальной оценки двух сравниваемых методов расчёта доз вносимых удобрений в 2024 году заложили экспресс-опыт на том же участке интенсивного сада.

В связи с неблагоприятными погодными условиями (возвратные заморозки во время цветения в мае 2024 года, $q_w = 33\%$) была запланирована ожидаемая урожайность на уровне ~ 20 т/га в среднем по сортам.

По методу почвенно-лиственной диагностики в почву вносили расчётную дозу $N_{135} K_{240}$.

По методу элементного баланса в почву вносили расчётную дозу $N_{54} K_{137}$ (кг/га д.в.).

В результате проведённого эксперимента установлено, что между вариантами опыта отсутствует существенная разница по показателю урожайности яблони (Таблица 3.3.4).

Таблица 3.3.4 – Урожайность яблони в 2024 г. при внесении минеральных удобрений с использованием различных методов расчёта доз

Сорта	Варианты опыта	Урожайность яблони	
		т/га	% к контролю
Лобо	По методу почвенно-лиственной диагностики $N_{135}K_{240}$ (к)	25,48	-
	По методу элементного баланса $N_{54}K_{137}$	24,79	-2,7%
	HCP_{05}	5,52	-
Хоней крисп	По методу почвенно-лиственной диагностики $N_{135}K_{240}$ (к)	26,38	-
	По методу элементного баланса $N_{54}K_{137}$	25,79	-2,2%
	HCP_{05}	5,74	-

Однако между вариантами сравниваемых методов имеется заметная разница в дозе удобрений в сторону её снижения (азотных – в 2,5 раза, калийных – в 1,75 раза) при расчёте по методу элементного баланса. Это предмет для экономической и экологической оценки.

3.3.2 Экономическая эффективность внесения азотных удобрений в интенсивном саду

Азотные удобрения оказывают существенное влияние на урожайность яблони. Это свидетельствует о высокой потребности яблони в азоте как элементе питания и о недостатке его в почве в условиях опыта.

Капитальные затраты на 1 га интенсивного шпалерного сада на карликовом подвое составляют около 3 млн. руб./га, таким образом, на каждый из 10 лет плодоношения приходится 300 тыс. руб. Эксплуатационные затраты составляют 340 тыс. руб. (Трунов, Соловьев, Трунов, 2024). В таблице 3.3.5. показаны расчёты затрат на производство и себестоимости яблок сортов Лобо и Хоней крисп в интенсивном саду при внесении в почву азотных удобрений.

Таблица 3.3.5 – Затраты на производство и себестоимость яблок в 2024 г. в интенсивном саду при внесении в почву азотных удобрений

Варианты		Урожайность, т/га	Затраты на 1 га, тыс. руб.	Разброс, ± тыс. руб.	Себестоимость, руб./кг	Разброс, ± руб./кг.
Лобо	Контроль	26	770,0	32,5	29,62	1,10
	N ₄₅	27	781,1	34,3	28,93	1,18
	N ₉₀	29	797,2	37,3	27,49	1,36
	N ₁₃₅	30	808,2	38,0	26,94	1,41
	N ₁₈₀	31	819,3	38,0	26,43	1,44
	N ₂₂₅	33	835,4	39,8	25,31	1,57
	N ₂₇₀	33	841,5	40,0	25,50	1,57
Хоней крисп	Контроль	24	760,0	19,0	31,67	0,60
	N ₄₅	26	776,1	19,8	29,85	0,66
	N ₉₀	28	792,2	22,5	28,29	0,80
	N ₁₃₅	30	808,2	30,8	26,94	1,14
	N ₁₈₀	32	831,5	33,5	25,98	1,29
	N ₂₂₅	33	842,9	35,8	25,54	1,40
	N ₂₇₀	33	850,1	37,5	25,76	1,46

Полные затраты, кроме общих эксплуатационных затрат, включают в себя стоимость работ по уборке урожая в вариантах опыта и дополнительной стоимо-

стью вносимых удобрений, поэтому, чем выше урожайность и чем больше вносили удобрений, тем полные затраты выше. При стоимости аммиачной селитры 45 руб./кг каждые 45 кг/га д.в. обходятся в 6,075 тыс. руб. Стоимость уборки урожая оценивали в 5000 руб. за тонну. Для учета возможного разброса в затратах мы ориентировались на вариабельность урожая в пределах $\pm \frac{1}{2} \sigma$ т/га, а также возможный разброс оплаты в пределах ± 1 тыс. руб., размах себестоимости считался пропорционально массе урожая.

При внесении азотных удобрений наблюдается тенденция к снижению себестоимости производства плодов сорта Лобо с 29,6 руб./кг в контроле до 25,5-28,9 руб./кг в вариантах с удобрениями. Себестоимость яблок сорта Хоней крисп снижалась с 31,7 руб./кг в контроле до 25,8-29,9 руб./кг в вариантах с удобрениями (была незначительно выше). При этом соотношение между снижением себестоимости (в среднем по сортам) и ее разбросом для дозы N_{45} составляет 1,742 по сравнению с контролем; для дозы N_{90} ~1,637 по сравнению с предыдущей дозой; для дозы N_{135} оно еще близко к единице и составляет 0,895, а в дальнейшем продолжает снижаться. Это говорит о том, что выигрыш в себестоимости яблок перестает быть существенным при использовании удобрений в дозах свыше 135 кг/га д.в.

При максимальных исследованных дозах удобрений (N_{270}) и выше, если нет существенного роста урожая, «выигрыш» в себестоимости может уходить в отрицательные значения, превращаясь, по сути, в проигрыш.

В таблице 3.3.6 показаны расчёты экономической эффективности производства яблок сортов Лобо и Хоней крисп в интенсивном саду при внесении в почву азотных удобрений.

Стоимость яблок мы оценивали, исходя из оптовой цены в 60 руб./кг. Наиболее высокая стоимость валовой продукции яблок с 1 га (от 1620 до 1980 тыс. руб./га) по сорту Лобо складывалась при внесении азотных удобрений, прибыль при этом составила 838,9-1144,6 тыс. руб./га; по сорту Хоней крисп наиболее высокая стоимость валовой продукции яблок с 1 га также складывалась при внесении азотных удобрений (от 1560 до 1980 тыс. руб./га), прибыль при этом составила 680,0-1137,1 тыс. руб./га.

Разброс в экономических затратах мы оценивали как риски и вычитали из прибыли при определении уровня рентабельности. В итоге, уровень рентабельности производства яблок сорта Лобо при внесении азотных удобрений составил 103,0-132,3% (на 4,6-33,9 процентных пункта выше, чем в контроле). Уровень рентабельности производства яблок сорта Хоней крисп был в контрольной группе ниже, чем у сорта Лобо (87%), но при внесении азотных удобрений составил 98,5%-130,7% (на 11,5-43,7 процентных пункта выше по сравнению с контрольной группой). Средний уровень рисков для этого сорта был ниже, благодаря устойчивости его физиологических характеристик.

Таблица 3.3.6 – Экономическая эффективность производства яблок при внесении в почву азотных удобрений (данные по 2024 г.)

Варианты		Стоимость продукции, тыс. руб./га	Расходы, тыс. руб./га	Прибыль, тыс. руб./га	Уровень рисков, %	Рентабель- ность, %
Лобо	Контроль	1560,0	770,0	790,0	4,1%	98,4%
	N ₄₅	1620,0	781,1	838,9	4,1%	103,0%
	N ₉₀	1740,0	797,2	942,9	4,0%	113,6%
	N ₁₃₅	1800,0	808,2	991,8	3,8%	118,0%
	N ₁₈₀	1860,0	819,3	1040,7	3,7%	122,4%
	N ₂₂₅	1980,0	835,4	1144,6	3,5%	132,3%
	N ₂₇₀	1980,0	841,5	1138,6	3,5%	130,6%
Хоней крисп	Контроль	1440,0	760,0	680,0	2,8%	87,0%
	N ₄₅	1560,0	776,1	783,9	2,5%	98,5%
	N ₉₀	1680,0	792,2	887,9	2,5%	109,2%
	N ₁₃₅	1800,0	808,2	991,8	3,1%	118,9%
	N ₁₈₀	1920,0	824,3	1088,5	3,1%	126,9%
	N ₂₂₅	1980,0	835,4	1137,1	3,1%	130,7%
	N ₂₇₀	1980,0	841,5	1130,0	3,3%	128,5%

При этом различия в рентабельности производства яблок при внесении удобрений свыше 180 кг/га д.в. были невелики, а увеличение дозы азотных удобрений от 225 кг/га д.в. вообще не приводило к адекватному повышению экономической эффективности производства.

Таким образом, наиболее экологически и экономически эффективным приёмом удобрения яблони сортов Лобо и Хоней крисп из исследованных доз азотных удобрений является внесение в почву аммиачной селитры в дозе 90-135 кг/га д.в.

Для сравнительной оценки двух методов расчёта доз вносимых удобрений (метод почвенно-листовой диагностики и метод элементного баланса) проведены расчёты экономической эффективности производства яблок сортов Лобо и Хоней крисп в интенсивном саду в 2024 году при плановой урожайности 20 т/га. В таблице 3.3.7 показаны расчёты экономической эффективности производства яблок при внесении в почву минеральных удобрений с использованием различных методов расчёта доз.

Таблица 3.3.7 – Экономическая эффективность производства яблок с использованием различных методов расчёта доз удобрений (данные по 2024 г.)

Показатели эффективности	Лобо		Хоней Крисп	
	N ₁₃₅ K ₂₄₀	N ₅₄ K ₁₃₇	N ₁₃₅ K ₂₄₀	N ₅₄ K ₁₃₇
Урожайность, т/га	25,5	24,8	26,4	25,8
Цена реализации яблок, руб./кг	60	60	60	60
Стоимость продукции, тыс. руб./га	1530	1490	1580	1550
Производственные затраты, тыс. руб./га	745	745	750	750
Стоимость удобрений, тыс. руб./га	42	21	42	21
Всего затрат, тыс. руб./га	787	766	792	771
Себестоимость, руб./кг	30,68	31,71	30,79	30,67
Прибыль, тыс. руб./га	723	704	768	759
Уровень рентабельности, %	94,4%	94,5%	99,4%	101,0%

Как видно из таблицы 3.3.7, в плане экономической эффективности не отмечается существенных различий применения двух методов. Урожайность сортов яблони, цена реализации яблок, производственные затраты на выращивание продукции в вариантах с использованием различных методов расчёта доз удобрений почти не отличались. Практически одинаковыми были себестоимость яблок и уровень рентабельности их производства. По сорту Лобо уровень рентабельности оказался чуть ниже, чем по сорту Хоней Крисп.

Преимуществами метода элементного баланса является его бóльшая гибкость, возможность варьировать условия расчетов, с одной стороны, и ориентированность на конкретные почвенные условия и жизнедеятельность растений, с другой. Таким образом, решающее значение для оценки целесообразности при использовании методов расчёта доз удобрений имеет экологический фактор снижения химической нагрузки на почву.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования сделаны следующие **выводы**:

1. В изучаемом интенсивном яблонево́м саду наблюдалось существенное увеличение морфобиологических параметров деревьев яблони в среднем по 6 сортам: площади листьев – с 0,38 до 4,98 м²/дер.; диаметра штамба – с 19,3 до 59,9 мм; вегетативной биомассы деревьев – с 0,68 до 6,87 кг/дер. Морфобиологические показатели деревьев связаны друг с другом прямыми и нелинейными соотношениями и в динамике эффективно описываются логистической функцией ($R^2 \geq 0,85$). При этом измерение диаметра штамба яблони позволяет прогнозировать до 88% динамики прироста её вегетативной биомассы и до 77% динамики урожая.

2. Урожайность яблони возрастала в среднем с 1,2 т/га до 46,2 т/га. Сорт Хоней Крисп проявил себя как наиболее стабильно плодоносящий (ковариация с прогнозируемым урожаем 0,903), сорт Лигол – как нестабильно плодоносящий (ковариация с прогнозируемым урожаем 0,557), в отдельные благоприятные годы дающий очень высокую урожайность (более 75 т/га). Средняя урожайность деревьев в зависимости от их возраста описывается логистическим уравнением с коэффициентом детерминации $R^2 \geq 0,74$ и прогнозируемым плато на уровне около 56 ± 14 т/га, но чувствительна к погодным условиям. Сортвые особенности могут быть учтены с помощью введения линейных коэффициентов ($R^2 \geq 0,89$).

3. В процессе эксплуатации интенсивного яблонево́го сада без внесения в почву соответствующих удобрений наблюдается снижение содержания легкогидролизуемого азота и обменного калия в корнеобитаемом слое почвы за 5 лет на 6,7% и 10,1%, соответственно. При ежегодном внесении в почву приствольной полосы интенсивного яблонево́го сада азотных удобрений в дозах от 45 до 270 кг/га д.в. наблюдается накопление от 2,9% до 34,1% легкогидролизуемого азота. При ежегодном внесении калия в дозе 120 кг/га д.в. наблюдается накопление 23,2% обменного калия в метровом слое почвы.

4. При внесении в почву азотных удобрений наблюдается существенное увеличение морфобиологических параметров деревьев яблони сортов Лобо и Хоней Крисп в интенсивном саду на карликовом подвое Парадизка Будаговского: площади листьев на дереве – на 14,1%-22,4%; диаметра штамба деревьев – на 5,0%-6,7%; вегетативной биомассы – на 5,2%-7,8%. Прирост вегетативной биомассы у деревьев яблони сортов Лобо и Хоней Крисп увеличивался на 12,6%-53,1%, причем его чувствительность к внесению азотных удобрений была выше в неурожайные годы. Увеличение дозы удобрения выше минимально эффективной не приводило к дальнейшему пропорциональному увеличению значений морфобиологических параметров деревьев. Динамика морфобиологических показателей яблони сортов Лобо и Хоней крисп в зависимости от дозы азотных удобрений описывается логистическими уравнениями регрессии с коэффициентами детерминации не менее 0,92.

5. При внесении в почву азотных удобрений наблюдается существенное увеличение компонентов продуктивности сортов яблони Лобо и Хоней Крисп в интенсивном саду на карликовом подвое Парадизка Будаговского. У деревьев сорта Лобо увеличивались: прирост вегетативной массы – на 12,0%-17,8%; число плодов на дереве – на 13,3%-16,0%; средняя масса плодов – на 6,7%-9,6%; общая урожайность – на 28%-49%. У деревьев сорта Хоней крисп увеличивались: прирост вегетативной массы – на 10,0%-15,4%; число плодов на дереве – на 14,3%-19,0%; средняя масса плодов – на 11,1%-13,7%; общая урожайность – на 29,9%-37,3%. Зависимость массы прироста и урожая яблони от доли азота в корнеобитаемом слое почвы описывается логистическими уравнениями регрессии с коэффициентами детерминации не менее 0,98.

6. При внесении в почву азотных удобрений нет устойчивых достоверных изменений удельной продуктивности деревьев яблони на единицу площади листьев. Удельная продуктивность на единицу сечения штамба увеличивалась под действием азотных удобрений в дозах от 225 кг/га д.в.: у сорта Лобо на 12%-13%; у сорта Хоней крисп – на 16%-18%. Влияние азотных удобрений на продуктивность зависит от сорта и опосредовано усилением развития фотосинтезирующих органов.

7. Содержание азота в листьях яблони сорта Лобо повышалось на 6%-8% при внесении аммиачной селитры в дозах от 225 кг/га д.в., в листьях яблони сорта Хоней крисп повышение содержания азота на 8%-10% было отмечено при внесении аммиачной селитры в дозах от 135 кг/га д.в. по сравнению с контролем. Содержание азота в корнях яблони сорта Лобо возрастало на 8,8%-10,6%, в корнях яблони сорта Хоней крисп – на 9,4%-10,4% при внесении высоких доз аммиачной селитры (225-270 кг/га д.в.). Значимых изменений в содержании стеблевого азота выявлено не было. Также не было выявлено влияния азотных удобрений на содержание калия. Средняя доля азота от сырого вещества (ω_N) в плодах яблони составляет $0,83 \pm 0,07\%$; в вегетативной массе яблони – $4,30 \pm 0,91\%$; средняя доля калия (ω_K) в плодах составляет $1,40 \pm 0,19\%$; в вегетативной массе яблони – $2,31 \pm 0,54\%$.

8. У деревьев яблони на карликовых подвоях установлены отрицательные корреляционные связи между урожайностью и содержанием в листьях азота – на умеренном и заметном уровне (коэффициент корреляции: $-0,48$ – $-0,78$); калия – на заметном уровне (коэффициент корреляции: $-0,70$), что объясняется использованием азота и калия из листьев для роста плодов. Вынос азота и калия деревьями яблони в интенсивном саду на карликовом подвое Парадизка Будаговского тесно связан с величиной урожая (коэффициенты корреляции выше $0,9$). Прирост вегетативной биомассы также связан с выносом элементов, но связь слабее (коэффициенты корреляции составляют $0,67$ – $0,73$), что объясняется её ролью как резерва элементов питания для плодов. Зависимость выноса азота и калия деревьями яблони от дозы вносимых удобрений описывается логистическими уравнениями регрессии с коэффициентами детерминации не менее $0,82$, что говорит о достаточной сильной связи с эмпирическими данными.

9. В ходе исследования доработана и усовершенствована комплексная модель элементного баланса в системе «растение-почва-атмосфера» для сортов яблони на карликовом подвое Парадизка Будаговского на основании содержания элементов в корнеобитаемом слое почвы и прогнозируемого биологического выноса элементов с урожаем и вегетативной биомассой. В модели учитываются: развитость деревьев (как функция от возраста и размеров штамба), их биологическая продуктивность

(как функция от уровня развития и азотного питания), соотношение урожая и вегетативного прироста, а также сортовая специфика. Применение модели элементного баланса позволяет проводить более тонкие расчеты доз удобрений по сравнению с моделью почвенно-листовой диагностики, расходовать их более экономно и целенаправленно. В практике садоводческих хозяйств предусматривается использование автоматизированного (программного) или табличного способа расчета доз азотных и калийных удобрений на основе модели.

10. При внесении азотных удобрений наблюдается тенденция к снижению себестоимости производства плодов по сравнению с контролем. При этом выигрыш в себестоимости яблок перестает быть существенным по сравнению с ее прогнозируемым разбросом при использовании удобрений в дозах свыше 135 кг/га д.в. Уровень рентабельности производства яблок при внесении азотных удобрений составил 98,5%-132,3%, что на 4,6-43,7 процентных пунктов выше, чем в контроле. Однако различия в рентабельности производства яблок между вариантами внесения удобрений свыше 180 кг/га д.в. невелики, а увеличение дозы азотных удобрений от 225 кг/га д.в. вообще не приводило к адекватному повышению экономической эффективности производства.

11. Для оценки целесообразности при использовании методов расчёта доз удобрений основное значение имеет экологический фактор снижения химической нагрузки на почву, так как у сравниваемых методов не выявляется значимых преимуществ в плане экономической эффективности. Наиболее экологически целесообразным и эффективным для поддержания минерального питания деревьев яблони сортов Лобо и Хоней крисп на карликовом подвое в условиях интенсивного сада является диапазон вносимых доз азотных удобрений от 90 до 180 кг/га д.в. (оптимум – 140 кг/га д.в.). Рекомендуемая доза вносимого калия – от 135 до 240 кг/га д.в. (оптимум – 165 кг/га д.в.).

Дальнейшая разработка темы может быть основана на расширении диапазона сортов яблони на карликовых подвоях для разработки сортовой специфики минерального питания и удобрения яблони; на учете комплексного взаимного влияния совокупности основных элементов минерального питания; на изучении

динамики минеральных элементов в системе «растение – почва – атмосфера» в интенсивном яблоневом саду на других типах почв; на продолжении исследований, направленных на оптимизацию доз азотных удобрений по фенологическим фазам развития растений и в течение онтогенеза с целью увеличения урожайности, стабилизации плодоношения и повышение товарно-потребительских качеств плодов в течение всего периода эксплуатации насаждений на фоне поддержания и увеличения почвенного плодородия в условиях средней полосы России.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Расчеты доз азотных удобрений для интенсивного яблоневого сада ЦЧР рекомендуется проводить по следующим формулам.

Общий уровень азотных удобрений ($y_{\text{сумм.}}$) определяется по формуле:

$$y_{\text{сумм.}} = y_{\text{баз.}} + y_{\text{доб.}}, \quad (1)$$

где: $y_{\text{баз.}}$ – базовый уровень удобрений (восполнение дефицита элемента); $y_{\text{доб.}}$ – добавочный уровень удобрений (компенсация выноса элемента).

Базовый уровень азотных удобрений ($y_{N_{\text{баз.}}}$) на неистощенных черноземных почвах Липецкой области ($y_{N_{\text{баз.}}}$), как правило, равен 0, так как дефицита азота в них нет. Для истощенных или бедных почв он находится по разности между фактическим и необходимым содержанием азота (необходимое содержание принято за 100 мг/кг):

$$y_{N_{\text{баз.}}} \text{ (т/га)} = 15,6 \cdot (100 - N_{\text{факт.}}) \quad (2)$$

Искусственно поднимать долю почвенного азота, если она составляет 100-140 мг/кг почвы, желательно *не больше*, чем на 5% от фактической.

Базовый уровень калийных удобрений ($y_{K_{\text{баз.}}}$) на почвах Липецкой области находится по разности между фактическим и минимально необходимым содержанием калия:

$$y_{K_{\text{баз.}}} \text{ (т/га)} = 12,3 \cdot (80 - K_{\text{факт.}}). \quad (3)$$

Добавочный уровень удобрений ($y_{\text{доб.}}$) определяется по вероятному выносу элемента растениями, который зависит от массы урожая и вегетативного прироста. Прогноз выноса азота и калия с урожаем и вегетативной биомассой можно производить автоматически с помощью специально разработанного нами «калькулятора выноса» (Приложение 6) в программной среде MSOffice или на сайте. По диаметру штамба (мм) и целевому уровню почвенного азота (мг/кг) с использованием полученных в исследовании формул вычисляется дополнительная доза азотных и калийных удобрений (кг/га д.в.).

Автоматические расчеты базируются на формулах:

$$y_{N_{\text{доб.}}} = (0,834 \cdot M_{yp.} + 4,304 \cdot \Delta M_{\text{вез.}}) \cdot 2,08;$$

$$y_{K_{\text{доб.}}} = (1,402 \cdot M_{yp.} + 2,305 \cdot \Delta M_{\text{вез.}}) \cdot 1,64;$$

$$M_{yp.} = (0,651 f_{y1} (Ш_{\emptyset}) + 0,453 f_{y2} (N_{(почв.)}) - 3,67) \times III \times Q;$$

$$f_{y1} (Ш_{\emptyset}) = 19,2 / (95,789 e^{-0,092 Ш_{\emptyset}} + 1) + 0,35;$$

$$f_{y2} (N_{(почв.)}) = 12,2 / (149,755 e^{-0,044 N_{(почв.)}} + 1) + 3,08;$$

$$\Delta M_{\text{вез.}} = (0,341 f_{\pi 1} (Ш_{\emptyset}) + 0,742 f_{\pi 2} (N_{(почв.)}) - 0,009) \times III;$$

$$f_{\pi 1} (Ш_{\emptyset}) = \frac{10,086}{44,7 e^{-(Ш_{\emptyset} / 7,5)} + 1} - \frac{7,565}{(44,7 e^{-(Ш_{\emptyset} / 7,5)} + 1)^2} - 1,888;$$

$$f_{\pi 2} (N_{(почв.)}) = 1,1 / (2258,443 e^{-0,064 N_{(почв.)}} + 1) + 0,305;$$

где: $M_{yp.}$ – прогнозируемая или планируемая урожайность (т/га); $\Delta M_{\text{вез.}}$ – прогнозируемый прирост вегетативной массы (т/га); $Ш_{\emptyset}$ – диаметр штамба деревьев (мм); $N_{(почв.)}$ – плановый показатель почвенного азота (мг/кг); III – плотность посадки (тыс.шт./га); f_{\dots} – промежуточные значения нелинейных функций; Q – поправочный коэффициент.

Предусматривается поправка на сорт и на внешние условия (поправочные коэффициенты для расчета продукции исследованных сортов приведены в таблице 3.3.3 или в приложении 6). Для поправки на сорт массу урожая умножают на табличную величину "b" и прибавляют табличную величину "с". Для поправки на внешние условия величину прогнозируемого урожая предлагается умножить на безразмерную величину в пределах от 0 до 2, в зависимости от предполагаемого влияния текущих внешних факторов на урожай (такой диапазон отклонений наблюдался в опытных условиях в отдельные годы).

Упрощенный способ расчета удобрений (без электронных средств) можно произвести по таблице 4.1, зная средний диаметр штамба яблони и уровень азота в почве, а также погодные условия в период, предшествующий завязыванию плодов (учет колебаний до $\frac{2}{3}$ от среднего урожая).

Таблица 4.1 – Рекомендуемые дозы азотных и калийных удобрений в интенсивных яблоневых садах на подвое Парадизка Будаговского в условиях Центрально-Черноземного региона (при плотности посадки 2500 шт./га).

Диаметр штамба, мм	Прогноз урожайности (по погодным условиям)									Удобрения
	Неблагоприятный			Нормальный (средний)			Высокий			
	Уровень почвенного азота			Уровень почвенного азота			Уровень почвенного азота			
	Низкий (100 мг/кг)	Средний (100-150 мг/кг)	Высокий (150 мг/кг)	Низкий (100 мг/кг)	Средний (100-150 мг/кг)	Высокий (150 мг/кг)	Низкий (100 мг/кг)	Средний (100-150 мг/кг)	Высокий (150 мг/кг)	
40 (± 1)	190 ± 26	136 ± 19	48 ± 7	206 ± 29	161 ± 22	81 ± 11	221 ± 31	187 ± 26	113 ± 16	N
	104 ± 14	112 ± 15	118 ± 16	125 ± 17	145 ± 20	161 ± 22	145 ± 20	179 ± 25	203 ± 28	K
42 (± 1)	189 ± 26	135 ± 19	47 ± 7	206 ± 29	162 ± 22	81 ± 11	222 ± 31	188 ± 26	114 ± 16	N
	104 ± 14	112 ± 15	118 ± 16	126 ± 17	147 ± 20	162 ± 22	148 ± 21	181 ± 25	206 ± 29	K
44 (± 1)	188 ± 26	134 ± 19	46 ± 6	206 ± 29	162 ± 22	81 ± 11	224 ± 31	189 ± 26	115 ± 16	N
	104 ± 14	112 ± 15	118 ± 16	127 ± 18	148 ± 21	164 ± 23	151 ± 21	184 ± 26	209 ± 29	K
46 (± 1)	187 ± 26	133 ± 18	45 ± 6	206 ± 29	162 ± 22	81 ± 11	225 ± 31	190 ± 26	116 ± 16	N
	104 ± 14	112 ± 16	118 ± 16	129 ± 18	150 ± 21	165 ± 23	154 ± 21	187 ± 26	212 ± 29	K
48 (± 1)	187 ± 26	133 ± 18	45 ± 6	207 ± 29	163 ± 23	82 ± 11	227 ± 31	192 ± 27	118 ± 16	N
	104 ± 14	112 ± 16	118 ± 16	131 ± 18	152 ± 21	167 ± 23	157 ± 22	191 ± 26	215 ± 30	K
50 (± 1)	186 ± 26	132 ± 18	44 ± 6	208 ± 29	163 ± 23	82 ± 11	229 ± 32	194 ± 27	120 ± 17	N
	104 ± 14	113 ± 16	119 ± 16	133 ± 18	154 ± 21	169 ± 23	161 ± 22	194 ± 27	219 ± 30	K
52 (± 1)	186 ± 26	132 ± 18	44 ± 6	209 ± 29	164 ± 23	83 ± 12	231 ± 32	196 ± 27	122 ± 17	N
	105 ± 15	113 ± 16	119 ± 16	135 ± 19	156 ± 22	171 ± 24	164 ± 23	198 ± 27	222 ± 31	K
54 (± 1)	186 ± 26	132 ± 18	44 ± 6	210 ± 29	165 ± 23	84 ± 12	233 ± 32	198 ± 27	124 ± 17	N
	105 ± 15	113 ± 16	119 ± 17	137 ± 19	158 ± 22	173 ± 24	168 ± 23	201 ± 28	226 ± 31	K
56 (± 1)	186 ± 26	132 ± 18	44 ± 6	211 ± 29	166 ± 23	86 ± 12	235 ± 33	200 ± 28	126 ± 18	N
	106 ± 15	114 ± 16	120 ± 17	139 ± 19	160 ± 22	175 ± 24	171 ± 24	204 ± 28	229 ± 32	K
58 (± 1)	186 ± 26	132 ± 18	44 ± 6	212 ± 29	168 ± 23	87 ± 12	237 ± 33	202 ± 28	129 ± 18	N
	106 ± 15	114 ± 16	120 ± 17	141 ± 19	161 ± 22	177 ± 25	174 ± 24	208 ± 29	232 ± 32	K
60 (± 1)	186 ± 26	132 ± 18	44 ± 6	213 ± 30	169 ± 23	88 ± 12	239 ± 33	205 ± 28	131 ± 18	N
	107 ± 15	115 ± 16	121 ± 17	142 ± 20	163 ± 23	179 ± 25	177 ± 25	211 ± 29	236 ± 33	K
62 (± 1)	186 ± 26	132 ± 18	44 ± 6	214 ± 30	170 ± 24	89 ± 12	241 ± 33	207 ± 29	133 ± 18	N
	107 ± 15	115 ± 16	121 ± 17	144 ± 20	165 ± 23	180 ± 25	180 ± 25	214 ± 30	238 ± 33	K
64 (± 1)	187 ± 26	133 ± 18	45 ± 6	215 ± 30	171 ± 24	90 ± 12	243 ± 34	208 ± 29	134 ± 19	N
	108 ± 15	116 ± 16	122 ± 17	146 ± 20	166 ± 23	182 ± 25	183 ± 25	216 ± 30	241 ± 33	K
66 (± 1)	187 ± 26	133 ± 18	45 ± 6	216 ± 30	172 ± 24	91 ± 13	245 ± 34	210 ± 29	136 ± 19	N
	108 ± 15	116 ± 16	122 ± 17	147 ± 20	168 ± 23	183 ± 25	185 ± 26	219 ± 30	243 ± 34	K
68 (± 1)	187 ± 26	133 ± 18	45 ± 6	217 ± 30	173 ± 24	92 ± 13	246 ± 34	211 ± 29	138 ± 19	N
	109 ± 15	117 ± 16	123 ± 17	148 ± 21	169 ± 23	184 ± 26	187 ± 26	221 ± 31	245 ± 34	K
70 (± 1)	187 ± 26	133 ± 18	45 ± 6	218 ± 30	173 ± 24	92 ± 13	248 ± 34	213 ± 30	139 ± 19	N
	109 ± 15	117 ± 16	123 ± 17	149 ± 21	170 ± 24	186 ± 26	189 ± 26	223 ± 31	247 ± 34	K

Для крупноплодных урожайных сортов (Лигол) рекомендуется применять значения ближе к верхней границе представленного диапазона, для менее урожайных (Спартан) – ближе к нижней границе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адрианов, С.Н. Запасы гумуса и элементов питания растений в дерново-подзолистых, серых лесных и черноземных почвах / С.Н. Адрианов // Агрохимия. – 1990. – № 4. – С. 126–138.
2. Амелин, А.А., Соколов, О.А. Условия внешней среды режим минерального питания и содержание нитратов в клубнях различных сортов картофеля / А.А. Амелин, О.А. Соколов // Агрохимия. – 1994. – № 7–8. – С. 21–26.
3. Бабук, В.И. Повышение продуктивности насаждений в условиях Молдавской ССР оптимизацией густоты стояния и минеральное питание растений : Автореф. дис. ... докт. с-х. наук. / В.И. Бабук. – Кишинев, 1975. – 40 с.
4. Бабушкин, В.А., Завражнов, А.И., Трунов, Ю.В. Промышленное садоводство как управляемая информационно-технологическая система / В.А. Бабушкин, А.И. Завражнов, Ю.В. Трунов // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. – № 11. – С. 110–112.
5. Балобин, В.Н., Матвеева, Р.Ф. О диагностике минерального питания / В.Н. Балобин, Р.Ф. Матвеева // Диагностика потребности растений в удобрениях : науч. тр. ВАСХНИЛ. – Москва : Колос, 1970. – С. 110–113.
6. Балобин, В.Н., Матвеева, Р.Ф. Определение обеспеченности плодовых культур элементами питания / В.Н. Балобин, Р.Ф. Матвеева // Пути повышения продуктивности плодовых и ягодных насаждений в Белоруссии. – 1984. – С. 102–105.
7. Башкин, В.Н. Агрохимия азота / В.Н. Башкин. – Пущино, 1987. – С. 59–103.
8. Безносииков, В.А. Трансформация азотных удобрений и их влияние на физико-химические свойства подзолистых почв и продуктивность агроценозов / В.А.Безносииков // Агрохимия. – 1997. – № 4. – С. 5–12.
9. Беспечальная, В.В. Биологические особенности роста и плодоношения абрикоса разных эколого-географических групп в неорошаемых условиях Мол-

давии. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. / В.В. Беспечальная. – Кишинев, 1967. – С. 17–19.

10. Библина, Б.И., Кириллов, Е.Н. Изменение содержания элементов минерального питания в надземных органах яблони в связи с плодоношением / Б.И. Библина, Е.Н. Кириллов. – Изд. АН МССР. – Сер. Биолог. и хим. наук. – 1972. – № 3. – С. 9–13.

11. Благовещенская, З.К., Могиндович, Л.С. Потери питательных веществ удобрений в интенсивном земледелии (обзорная информ.) / З.К. Благовещенская, Л.С. Могиндович. – Москва, 1987. – 16 с.

12. Биометрия плодовых культур / В.А. Потапов, А.И. Завражнов, Л.В. Бобрович, В.Н. Петрушин. – Мичуринск. – 2004. – 332 с.

13. Бобрович, Л.В. Корреляционно–регрессионные связи показателей роста и плодоношения яблони на слаборослых клоновых подвоях / Л.В. Бобрович // Сб. докл. науч. конф. МГСХА. – Мичуринск 1998. – Т. 2. – С. 10–13.

14. Бобрович, Л.В. Корреляционно–регрессионные связи показателей роста и плодоношения яблони на слаборослых клоновых подвоях / Л.В. Бобрович // Сб. докл. науч. конф. МГСХА. – Мичуринск 1998. – Т. 2. – С. 10–13.

15. Бобылев, Д.В. Влияние условий азотного питания на рост подвоев яблони 54–118 в питомнике / Д.В. Бобылев // Пути повышения устойчивости садоводства : Сб. науч. тр. ВНИИС. – Мичуринск 1998. – С. 90–92.

16. Бобылев, Д.В. Оптимизация минерального питания в питомнике на черноземе Тамбовской области. Автореф. дисс... канд. с.-х. наук. / Д.В. Бобылев. – Мичуринск 2000. – 23 с.

17. Болотов, А.Т. Избранные труды / А.Т. Болотов – Москва, 1988. – 416 с.

18. Бондаренко, А.А. К диагностике минерального питания плодовых растений / А.А. Бондаренко // В кн. : Диагностика потребности растений в удобрениях. – Москва : 1970. – С. 66–73.

19. Будаговский, В.И. Культура слаборослых плодовых деревьев / В.И. Будаговский. – Москва : Колос, 1976. – 302 с.

20. Бунцевич, Л.Л. [и др.]. Изучение эффективности выращивания скороплодных высокоурожайных саженцев яблони на подвоях категории «супер-стандарт» / Л.Л. Бунцевич, С.Н. Щеглов, М.А. Костюк, Е.Н. Беседина // Плодоводство и виноградарство юга России. – 2014. – № 26 (2). – С. 12–20.
21. Важенин, А.Н. [и др.]. Проектирование производственных процессов в растениеводстве : учеб. пособие / А.Н. Важенин, Б.А. Арютлов, Н.П. Майоров. – Нижний Новгород : Нижегород. ГСХА, 1998. – 130 с.
22. Варасова, Н.Н., Шустова, А.П. Физиология растений / Под ред., В.В. Аникиева. – Ленинград : Колос, 1969. – 223 с.
23. Васильченко, И.М. Клоновые подвои яблони и листовая диагностика минерального питания / И.М. Васильченко. // Исследования по плодовым и овощным культурам : Сб. науч. тр. – Харьков, 1980. – С. 126.
24. Вегера, А.А. Влияние минеральных удобрений на рост и плодоношение яблони / А.А. Вегера // Пути повышения урожайности плодовых и овощных культур : Сб. науч. тр. – Ставрополь, 1978. – 70 с.
25. Вегера, А.А. Содержание хлорофилла в листьях яблони при различном уровне минерального питания / А.А. Вегера // Пути повышения урожайности плодовых и овощных культур : Сб. науч. тр. – Ставрополь, 1978. – 70 с.
26. Вегера, А.А., Аполохов, Ф.Ф. Повышение урожайности яблони путем внесения минеральных удобрений / А.А. Вегера, Ф.Ф. Аполохов // Сб. науч. тр. Ставропольский СХИ. – Ставрополь, 1982. – вып. 45, Т. 2. – С. 65–70.
27. Вилли, К. Биология (биологические процессы и законы) : пер. с англ. / К. Вилли, В. Детье. – Москва : Мир, 1975. – С. 424–429.
28. Власишин, В.Ф. Особенности накопления и распределения сахаров в растениях яблони в зависимости от катионно–анионных соотношений при внесении калийных удобрений / В.Ф. Власишин // Кр. тез. докл. II Всесоюзной конф. молодых ученых по садоводству. – Мичуринск 1976. – С. 106–107.
29. Воробьев, В.Ф. Влияние минеральных удобрений на лежкость и качество яблок Антоновки обыкновенной / В.Ф. Воробьев // Садоводство и виноградарство. – 1996. – № 4. – С. 11–12.

30. Ворожбет, А.А., Попова, В.П., Пестова, Н.Г. Оценка состояния плодородия почвы в садовом агроценозе по её биологической активности / А.А. Ворожбет, В.П. Попова, Н.Г. Пестова // Формы и методы повышения экономической эффективности регионального садоводства и виноградарства. Организация исследований и их координация. Юбил. тем. сб. науч. тр. – Ч. 1. : Садоводство. – Краснодар, 2001. – С. 96–98.

31. Гмурман, В.Е. Теория вероятности и математическая статистика : Учеб. пособие для ВТУЗов. / В.Е. Гмурман. – Москва : Высшая школа, 1977. – 479 с.

32. Голикова, Н.А., Суглобов, Н.П. Влияние сроков внесения азотных удобрений на рост и плодоношение яблони / Н.А. Голикова, Н.П. Суглобов // Биология селекция и агротехника плодовых культур : Науч. тр. – Т. 112. – Воронеж, 1981. – С. 134–140.

33. Горбач, Н.М. Повышение эффективности применения удобрений как механизм устойчивости и стабильной продуктивности садов / Н.М. Горбач // Науч. основы устойчивого садоводства в России : Докл. конф. 11-12 марта 1995 г. – Мичуринск, 1999. – С. 117–121.

34. ГОСТ 34314–2017. Яблоки свежие, реализуемые в розничной торговле. Технические условия = Fresh apples for retail. Specifications : Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации : протокол от 30.11.2017 №52 : введен впервые : дата введения 01.07.2018 / подготовлен АНО Научно-исследовательский центр "Кубаньагростандарт". – Москва : Стандартинформ. – 2018. – 48 с.

35. Григорьева, Л.В., Ершова, О.А. Влияние клоновых подвоев на формирование продуктивности деревьев яблони в интенсивном саду / Л.В. Григорьева, О.А. Ершова // Плодоводство и ягодоводство России : сб. науч. тр. – Москва, 2012. – Т. 34. – № 1. – С. 200–219.

36. Григорьева, Л.В. Агробιологические аспекты повышения продуктивности яблони в насаждениях ЦЧР РФ. Автореф. дис. ... доктора с.-х. наук /

Л.В. Григорьева. – Сев.-Кавказ. зон. науч.-исслед. ин-т садоводства и виноградарства. – Краснодар, 2015. – 47 с.

37. Григорьева, Л.В. Факторы повышения продуктивности яблоневых насаждений / Л.В. Григорьева // Садоводство и виноградарство. – 2002. – № 4. – С. 3–5.

38. Грин, Н., Стаут, У., Тейлор, Д. Биология : В 3-х томах. Пер. с англ. / Под ред. Сопера : 2-е изд. – Москва : Мир, 1996. – 368 с.

39. Грушева, Т.П., Левшунов, В.А. Современные тенденции создания интенсивных садов яблони / Т.П. Грушева, В.А. Левшунов // Плодоводство. – 2022. – Т. 31. – № 1. – С. 272–281.

40. Гудковский, В.А. Длительное хранение плодов / В.А. Гудковский. – Алма-Ата : Изд. Кайнаир, 1978. – 101 с.

41. Гудковский, В.А. Устойчивость плодовых и ягодных растений к стрессовым факторам и пути ее повышения / В.А. Гудковский // Пути повышения устойчивости садоводства : Сб. науч. тр. ВНИИС. – Мичуринск, 1998. – С. 17–29.

42. Гудковский, В.А., Каширская, Н.Я., Цуканова, Е.М. Физиологические основы и возможные пути повышения устойчивости плодовых насаждений к окислительным повреждениям / В.А. Гудковский, Н.Я. Каширская, Е.М. Цуканова // Повышение эффективности садоводства в современных условиях : Матер. Всерос. науч. практ. конф. 22-24 декабря 2003 г. – Мичуринск : Изд-во МичГАУ, 2003. – Том 1. – С. 15–32.

43. Девятков, А.С. Корреляционная зависимость между содержанием элементов питания и хлорофилла в листьях яблони и её урожайностью / Плодоводство. – 1989. – С. 84–87.

44. Девятков, А.С. Промышленная культура яблони в Польше / А.С. Девятков // Садоводство и виноградарство. – 1993. – № 5–6. – С. 19–23.

45. Дементьева, В.М. Влияние минеральных удобрений на рост и развитие корневой системы и химический состав листьев яблони / В.М. Дементьева // Сб. докл. первой Всесоюз. конф. мол. ученых по садоводству. – Мичуринск, 1970. – Т. 1. – С. 304–306.

46. Дементьева, В.М. Влияние минеральных удобрений на химический состав и вынос питательных веществ 5-летней яблоней / В.М. Дементьева // Эффективное применение в садоводстве и виноградарстве : Сб. науч. тр. Молдавский НИИ садоводства, виноградарства и виноделия. – Кишинев, 1975. – С. 94–96.
47. Дементьева, В.М. Итоги 14-летних исследований удобрений яблони / В.М. Дементьева // Эффективность применения в интенсивном садоводстве : Сб. науч. трудов. – Москва, 1986. – С. 120–128.
48. Демолон А. Рост и развитие культурных растений / А. Демолон. – М : Сельхозгиз, 1961. – 400 с.
49. Долгов, С.В. Влияние уровня азотного питания на поглотительную деятельность корневой системы и фотосинтетическую активность листового аппарата клоновых подвоев яблони различной силы роста / С.В. Долгов // Вопросы интенсификации садоводства в ЦЧЗ : Сб. науч. тр. Воронежский СХИ им., К.Д. Глинки. – Воронеж, 1985. – С. 56–61.
50. Долгов, С.В. Особенности азотного питания яблони в зависимости от силы роста. Автореф. дисс. ...канд. с.-х. наук / С.В. Долгов. – Мичуринск 1986. – 22 с.
51. Дорохов, Л.М. О взаимосвязи минерального питания с фотосинтезом растений / Л.М. Дорохов // В кн. : Роль минеральных элементов в обмене веществ и продуктивности растений. – Москва : Наука, 1964. – С. 200–204.
52. Дорошенко, Т.Н. [и др.]. Влияние органических удобрений на формирование хозяйственного урожая растений яблони в насаждениях Черноморской зоны садоводства / Т.Н. Дорошенко, О.Г. Белоус, Л.Г. Рязанова, Ц.В. Тутберидзе, Е.К. Яблонская // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2022. – № 80. – С. 111–119.
53. Дорошенко, Т.Н., Кондратенко, Н.И. Подбор сортов и подвоев для садов юга России / Т.Н. Дорошенко, Н.И. Кондратенко. – Краснодар, 1998. – 214 с.
54. Дорошенко, Т.Н., Макарова, Э.В., Дубравина, И.В. Биологические особенности сорто-подвойных комбинаций яблони с различной отзывчивостью на

минеральное питание / Т.Н. Дорошенко, Э.В. Макарова, И.В. Дубравина // Труды Кубанского ГАУ. – Вып. 342. – Краснодар, 1994. – С. 42–50.

55. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта, Б.А. / Доспехов. – Москва : Агропромиз. – 1985. – 351 с.

56. Егорова, Л.А., Белов, В.Ф. Применение листовой диагностики в садах Московской области / Л.А. Егорова, В.Ф. Белов // Биологические основы повышения урожайности с.-х. культур : Сб. науч. тр. – Москва : 1981. – С. 125–128.

57. Елисеева, Е.П. Влияние некоторых агротехнических приемов на ход дифференциации цветковых почек яблони / Е.П. Елисеева // Биология, агротехника и селекция плодовых растений : Науч. тр. – Том 73. – Воронеж, 1975. – С. 45–51.

58. Ермолаев, О.Г., Мойстренко, Н.Н. Закономерности использования фосфора суперфосфата растениями при ленточном внесении / О.Г. Ермолаев, Н.Н. Мойстренко // Сб. науч. тр. ин-та зернового хоз-ва. – Вып. 60. – Целиноград, 1987. – С. 23–27.

59. Жученко, А.А. Адаптивное растениеводство / А.А. Жученко. – Кишинев. : Штиинца, 1990. – 432 с.

60. Жученко, А.А. Стратегия адаптивной интенсификации сельского хозяйства (концепция) / А.А. Жученко. – Пущино, 1994. – 148 с.

61. Завражнов, А.А., Завражнов, А.И., Ланцев, В.Ю. Индустриальные технологии интенсивного садоводства / А.А. Завражнов, А.И. Завражнов, В.Ю. Ланцев // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2013. – №5. – С. 47–51.

62. Загиров, Н.Г., Мурсалов, М.М., Габибов, Т.Г. О возможности выращивания хурмы восточной в Южном Дагестане / Н.Г. Загиров, М.М. Мурсалов, Т.Г. Габибов // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2010. – № 4. – С. 31–33.

63. Загиров, Н.Г. Режим орошения и дозы удобрений для спуровых сортов яблони в Дагестане / Н.Г. Загиров // Садоводство и виноградарство. – 1996. – № 5–6. – С. 5–6.
64. Зеленская, Е.Д. Диагностика потребности плодовых культур в элементах питания / Е.Д. Зеленская // Химия в сельском хозяйстве. Аналит. обзор. – 1978. – Т. 16. – № 2. – С. 68–72.
65. Зеленская, Е.Д., Шепельская, А.Г. Основы питания и удобрения плодовых деревьев / Е.Д. Зеленская, А.Г. Шепельская. – Киев, 1973. – 282 с.
66. Зюрюкин, В.Г. Продуктивность яблони в зависимости от обеспеченности почвы основными элементами минерального питания Автореф. дисс... канд. с.-х. наук / В.Г. Зюрюкин. – Мичуринск, 1986. – 25 с.
67. Ивашкина, Н.В., Егорова, Н.Н. Поглощение нитратов корнями растений / Н.В. Ивашкина, Н.Н. Егорова // Агрохимия. – 1993. – № 9. – С. 106–124.
68. Измайлов, С.Ф., Котляров, Т.И., Смирнов, А.М. О физической роли корней и листьев растений в ассимиляции различных доз нитратов / С.Ф. Измайлов, Т.И. Котляров, А.М. Смирнов // Изв. АН СССР. – Сер. Биология. – 1983. – № 3. – С. 366–374.
69. Измайлов, С.Ф. Азотный обмен у растений / С.Ф. Измайлов. – Москва : Наука, 1986. – 320 с.
70. Исаева, И.С. Продуктивность яблони / И.С. Исаева. – Москва : Изд. МГАУ, 1989. – 149 с.
71. Канду, Г.М. Влияние подвоя, сорта и удобрения на развитие корневой системы яблони в питомнике / Г.М. Канду, В.И. Бабук // Науч. тр. Кишиневский СХИ. – Кишинев, 1973. – Т. 103. – С. 36–40.
72. Канивец, И.И., Семина, В.И. Об определении потребности яблони в удобрениях по данным химического состава растения и почвы / И.И. Канивец, В.И. Семина // В кн. : Эффективность удобрений в условиях Молдавии. – Кишинев, 1961. – С. 16–43.
73. Капичникова, Н.Г., Рябцева, Т.В., Турбин, П.А. Формирование площади листовой поверхности и урожайность деревьев различных сорто–

подвойных комбинаций яблони / Н.Г. Капичникова, Т.В. Рябцева, П.А. Турбин // Плодоводство. – 2017. – № 29 (1). – С. 26–33.

74. Карманова, И.В. Математические методы изучения роста и продуктивности растений / И.В. Карманова. – Москва, 1976. – С. 12–20.

75. Кашин, В.И. Научные основы адаптивного садоводства / В.И. Кашин. – Москва : Колос, 1995. – 335 с.

76. Каштанов, А.Н. Основные направления исследований и практической работы по совершенствованию зональных почвозащитных систем земледелия / А.Н. Каштанов // Плодородие почв и пути его повышения : Сб. науч трудов ВАСХНИЛ. – Москва : Колос, 1983. – С. 9–15.

77. Кехаев, В.К. Локализация элементов питания в органах яблони / В.К. Кехаев // Вопросы повышения продуктивности плодовых культур и винограда на Северном Кавказе : Тез. докл. и конф. мол. ученых, январь 1994. – Краснодар. – 1994. – С. 102–103.

78. Кехаев, В.К. Особенности потребления элементов питания и факторы продуктивности яблони на выщелоченных черноземах Кубани. Автореф. дисс. ... канд с.-х наук / В.К. Кехаев. – Москва, 1995. – 20 с.

79. Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. – Смоленск, 2004. – 342 с.

80. Климатический атлас Липецкой области / Главное управление гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР. Управление гидрометеорологической службы Центрально-Черноземных областей. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1967. – 42 с.

81. Климашевский, Э.Л. Генетические аспекты минерального питания растений / Э.Л. Климашевский. – Москва : Агропромиздат, 1991. – 415 с.

82. Климашевский, Э.Л. Эффективное использование удобрений / Э.Л. Климашевский // Междунар. с.-х. журнал. – 1983. – № 4. – 59 с.

83. Кобель, Ф. Плодоводство на физиологической основе : 2-е изд. / Ф. Кобель ; пер. с нем. В.А. Рыбина. – Москва : Сельхозгиз, 1957. – 376 с.

84. Кобляков, В.В. Влияние удобрений на рост и плодоношение яблони, привитой на ЕМ–ХІ, в пальметтном саду Прикубанской зоны плодоводства. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / В.В. Кобляков. – Краснодар, 1970. – 24 с.
85. Кобляков, В.В. Содержание N, P, K в надземной части карликовой яблони / В.В. Кобляков // Агротехника высоких урожаев плодов и винограда : Науч. тр. Кубанский СХИ. – Вып. 34. – Краснодар, 1972. – С. 55–58.
86. Козыр, Д.И. Рост, плодоношение и поражаемость яблони розеточностью в зависимости от доз и соотношение макро– и микроэлементов : Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук / Д.И. Козыр. – Москва – 1987. – 16 с.
87. Койка, С.А., Скориков, В.Т. Нитраты и нитриты в продукции растениеводства / С.А. Койка, В.Т. Скориков // Вестник Российского ун-та дружбы народов. – Серия : Агрономия и животноводство. – 2008. – № 3. – С. 58–63.
88. Колесников, В.А. Биологические и агротехнические основы ежегодных урожаев плодовых и ягодных культур / В.А. Колесников. – Москва : Рос-сельхозиздат, 1968. – 115 с.
89. Колесников, В.А. Корневая система плодовых и ягодных растений / В.А. Колесников. – Москва : Колос, 1974. – 509 с.
90. Кондаков, А.К. Методические указания по закладке и проведению опытов с удобрениями в плодовых и ягодных насаждениях / А.К. Кондаков. – Москва : ЦИНАО, 1981. – 39 с.
91. Кондаков, А.К. Новая технология удобрения интенсивных садов с почвенно–листовой диагностикой питания / А.К. Кондаков // Слаборослое садоводство : Междунар. науч. практ. конф., 23-24 июня 1999 г., МГАУ. : Сб. докл. – Мичуринск 1999. – Ч.2. – С. 77–80.
92. Кондаков, А.К. Новая технология удобрения садов с корректировкой доз элементов питания / А.К. Кондаков // Основные итоги и перспективы научных исследований ВНИИС им. И.В. Мичурина, 1931–2001 гг. : Сб. науч. тр. – Тамбов, 2001. – Т. 2. – С. 37–48.
93. Кондаков, А.К. Теоретическое и практическое обоснование эффективной технологии удобрения сельскохозяйственных культур / А.К. Кондаков

// Научное обеспечение современных технологий производства, хранения и переработки плодов и ягод в России и странах СНГ : Мат-лы междунауч.-практ. конф. 12-14 августа 2002 г. ВСТИСП. – Москва, 2002. – С. 171–175.

94. Кондаков, А.К. Удобрение плодовых деревьев, ягодников, питомников и цветочных культур / А.К. Кондаков. – Мичуринск, 2007. – 328 с.

95. Кондаков, А.К. [и др.] Современная система минерального питания и удобрения плодовых и ягодных растений / А.К. Кондаков, Ю.В. Трунов, О.А. Грезнев, О.А. Сироткина, А.А. Трунов // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 2. – С. 22–23.

96. Кондратенко, Н.И. Оптимизация минерального питания яблони / Н.И. Кондратенко. – Краснодар, 1998. – 62 с.

97. Кондратьев, К.Н. Экологические ресурсы продуктивности яблони в Поволжье / К.Н. Кондратьев. – Саратов : Изд-во Саратовского университета, 1991. – 168 с.

98. Концепция системы управления биологическими и производственными процессами в садоводстве на основе цифровых технологий с использованием искусственных нейронных сетей / Ю.В. Трунов, И.М. Куликов, А.В. Соловьев [и др.] // Садоводство и виноградарство. – 2019. – №5. – С. 54–58.

99. Копытко, П.Г. Изучение доз и соотношений минеральных удобрений в молодых яблоневых садах в условиях Лесостепи УССР : Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / П.Г. Копытко. – Киев, 1970. – 26 с.

100. Копытко, П.Г. Почвенно-агрохимические основы удобрений плодовых культур : Автореф. дисс. ... докт. с.-х. наук / П.Г. Копытко. – Москва : ТСХА, 1986. – 27 с.

101. Корнеева, Н.И. Урожайность и качество плодов яблони при внесении минеральных удобрений в условиях северо-востока БССР / Н.И. Корнеева // Сб. докл. 1-й Всесоюз. конф. мол. ученых : сб. науч. тр. – Мичуринск 1976. – 319 с.

102. Коровин, А.И. [и др.] Влияние температуры почвы в онтогенезе растений на поглощении ими фосфора и азота / А.И. Коровин, З.Ф. Сычева, Т.А.

Барская, З.А. Быстрова // Роль минеральных элементов в обмене веществ и продуктивности растений : Сб. науч. тр. – Москва : Наука, 1964. – С. 311–315.

103. Кошер, Л.Н., Кондратьев, К.Н. Круговорот питательных веществ в плодовом питомнике / Л.Н. Кошер, К.Н. Кондратьев // Сб. науч. тр. Гос. Никитский ботанический сад. – Ялта, 1976. – Т. 65. – С. 99–106.

104. Кравченко, С.Н., Попович, Л.П. Влияние азотных удобрений на урожай и качество плодов яблони / С.Н. Кравченко, Л.П. Попович // Садоводство, виноградарство и виноделие Молдавии. – 1985. – № 3. – С. 20–22.

105. Крамер, П.Д., Козловский, Т.Т. Физиология древесных растений / П.Д. Крамер, Т.Т. Козловский. – Москва : Лесная промышленность, 1983. – 462 с.

106. Краюшкина, Н.С., Дадыко, В.И. Яблоня на Северо-Западе Нечерноземной зоны / Н.С. Краюшкина, В.И. Дадыко. – Санкт-Петербург : Лениздат, 1994. – 190 с.

107. Криворучко, В.П. Продуктивность фотосинтеза яблони / В.П. Криворучко // Биология деревьев, кустарников плодовых растений Сев. Киргизии : Сб. науч. тр. – Фрунзе, 1987. – С. 21–23.

108. Криворучко, Т.И. Удобрения интенсивных садов / Т.И. Криворучко // Садоводство. – 1983. – № 6. – С. 10–12.

109. Крылова, И.И. Эффективность методов определения доз удобрений под плодоносящую яблоню / И.И. Крылова // Плодоводство в нечерноземной полосе : Сб. науч. тр. – Москва, 1988. – С. 71–80.

110. Крысанов, Ю.В. Адаптивность слаборослых деревьев яблони к факторам среды / Ю.В. Крысанов // Садоводство и виноградарство. – 1995. – № 3. – С. 13–14.

111. Кудрявец, Р.П. Продуктивность яблони / Р.П. Кудрявец. – Москва : Агропромиздат, 1987. – 303 с.

112. Кузин, А.И. Диагностика минерального питания саженцев яблони на слаборослых клоновых подвоях. Автореф. дисс. ...канд. с.-х. наук / А.И. Кузин. – Мичуринск, 1997. – 23 с.

113. Кузин, А.И. Оптимизация системы удобрения яблони в интенсивных садах ЦЧР : дисс... доктора с.-х. наук. / А.И. Кузин. – Мичуринск, 2018. – 452 с.
114. Кузин, А.И. [и др.]. Влияние гумата калия на урожайность и содержание N, P, K в почве и листьях яблони сорта Лигол в Центральном Черноземье / А.И. Кузин, А.В. Кушнер, А.А. Шмакова, Г.Б. Свиридов, В.Н. Назаров // Садоводство и виноградарство. – 2023. – № 1. – С. 35–42.
115. Кузин, А.И., Трунов, Ю.В. Распределение доступного фосфора в корнеобитаемом слое почвы под влиянием капельного орошения и фертигации в интенсивном яблоневоом саду / А.И. Кузин, Ю.В. Трунов // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2015. – №34(4). – С. 72–85.
116. Кузин, А.И., Трунов, Ю.В., Соловьев, А.В. Влияние различных способов применения удобрений на развитие отдельных компонентов продуктивности яблони / А.И. Кузин, Ю.В. Трунов, А.В. Соловьев // Вестник Мичуринского государственного аграрного ун-та. – 2015. – № 3. – С. 26–35.
117. Куликов, И.М. Проблемы импортозамещения плодово-ягодной продукции на агропродовольственном рынке России / И.М. Куликов // АПК : экономика, управление. – 2015. – № 6. – С. 3–12.
118. Куперман, И.А. Минеральное питание, дыхание и продуктивность растений : Автореферат дисс. ... доктора биол. наук / И.А. Куперман. – Новосибирск : Ин-т почвоведения и агрохимии СО АН СССР, 1984. – 37 с.
119. Куренной, Н.М. Плодоводство : Учебник / Н.М. Куренной, В.Ф. Колтунов, В.И. Черепашин. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 399 с.
120. Курсанов, А.Л. Дезорганизация энергетического обмена в корнях при калийном голодании / А.Л. Курсанов, Э.Н. Выхребенцева, И.К. Свешникова, М.С. Красавина // Докл. АН СССР. – 1965. – Т. 162. – № 1. – С. 211–214.
121. Курсанов, А.Л., Выхребенцева, Э.Н. Метаболизм растений в условиях калийной недостаточности / А.Л. Курсанов, Э.Н. Выхребенцева // Агрохимия. – 1967. – № 1. – С. 65–77.
122. Кушниренко, М.Д. Физиология водообмена и засухоустойчивости растений / М.Д. Кушниренко. – Кишинев, 1991. – 306 с.

123. Лебедев, В.М. Влияние уровня фосфорного питания на фотосинтез и корневую систему яблони : Автореф. дисс. канд с.-х. наук / В.М. Лебедев. – Мичуринск, 1969. – 51 с.
124. Лебедев, В.М. Минеральное питание и биологическая продуктивность яблони : Автореф. дисс. ... докт. с.-х. наук / В.М. Лебедев. – Мичуринск, 1985. – 49 с.
125. Лебедев, С.И. Физиология растений / В.М. Лебедев. – Москва : Агропромиздат, 1988. – 453 с.
126. Лебедева, Т.В., Надежкин, С.М., Надежкина, Е.В. Изменение азотного режима чернозёма выщелоченного при использовании удобрений / Т.В. Лебедева, С.М. Надежкин, Е.В. Надежкина // Агрохимия. – 1996. – № 4. – С. 3–8.
127. Лесогорова, А.И., Ковалева, А.Ф., Когут, П.С. Влияние минеральных удобрений на интенсивность фотосинтеза и урожайность различных сортов яблони / А.И. Лесогорова, А.Ф. Ковалева, П.С. Когут // Физиологические основы продуктивности плодовых и ягодных культур : Сб. науч. тр. – Мичуринск, 1986. – С. 30–34.
128. Майдебур, В.И. Влияние концентрации питательного раствора на поглощение калия яблоней / В.И. Майдебур // Науч. тр. Украинская с.-х. академия. – Киев, 1978. – Вып. 220. – С. 26–28.
129. Майдебур, В.И. [и др.]. Выращивание плодовых и ягодных саженцев / В.И. Майдебур, В.М. Васюта, И.М. Мережко, В.В. Бурковский. – Киев : Урожай, 1989. – 166 с.
130. Майдебур, В.И., Дудинский, Я.А. Изменения в листьях яблони под влиянием минеральных удобрений / В.И. Майдебур, Я.А. Дудинский // Докл. АН УССР. – 1977. – № 11. – С. – 1046–1050.
131. Макаренко, В.В., Козак, Н.В., Козак, Н.И. Влияние предпосадочного внесения удобрений на качество плодов яблони / В.В. Макаренко, Н.В. Козак, Н.И. Козак // Проблемы интенсификации современного садоводства : Кр. тез. докл. конф. – Мичуринск 1990. – С. 131–132.

132. Метлицкий, З.А. Агротехника плодовых культур / З.А. Метлицкий. – Москва : Колос, 1973. – 498 с.
133. Миграция биогенных элементов в черноземе типичном при фертигации плодовых насаждений / Т.Г. Фоменко, В.П. Попова, Е.А. Черников [и др.] // Агрохимия. – 2021. – № 3. – С. 60–70.
134. Минеев, В.Г. [и др.]. Агрохимия. Учебник / В.Г. Минеев, В.Г. Сычев, Г.П. Гамзиков и др.; под ред., В.Г. Минеева. – Москва, 2017. – 854 с.
135. Минеев, В.Г. Практикум по агрохимии / В.Г. Минеев, В.Г. Сычев, О.А. Амелянчик [и др.]. – Москва : Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
136. Михалевский, А.И. Влияние длительного применения минеральных удобрений на азотный обмен яблони / А.И. Михалевский // Эффективное применение удобрений в садоводстве и виноградарстве : Сб. науч. тр. – Кишинев, 1975. – С. 117–119.
137. Мичурин, И.В. Сочинения : в 4-х т. / И.В. Мичурин. – Т. 1–4, 2-е изд., доп. – Москва : Сельхозгиз, 1948. – С. 131–145.
138. Мовчан, Н.Ф. Корректировка норм внесения удобрений для яблони по результатам почвенной и листовой диагностики / Н.Ф. Мовчан // Краткие тезисы докладов второй Всесоюзной конференции молодых ученых по садоводству. – Мичуринск 1976. – С. 108–110.
139. Моисейченко, В.Ф. Локализация элементов питания в растениях яблони Кальвиль снежный и их вынос в зависимости от подвоя и доз удобрений / В.Ф. Моисейченко // Удобрение плодовых систем содержания почвы в саду : Науч. тр. УСХА. – Вып. 153. – Киев, 1975. – С. 19–22.
140. Морозовский, В.В. Определение выноса N, P, K деревьями некоторых косточковых плодовых пород / В.В. Морозовский // Эффективное применение удобрений в садоводстве и виноградарстве : Сб. науч. тр. Молдавский НИИ садоводства, виноградарства и виноделия. – Кишинев, 1975. – С. 102–103.
141. Муромцев, И.А., Страхова, З.С. Влияние условий минерального питания на структуру плодовых растений / И.А. Муромцев, З.С. Страхова // Во-

просы интенсификации садоводства в ЦЧЗ : Сб. науч. тр. Воронежский СХИ им., К.Д. Глинки. – Воронеж, 1985. – С. 144–152.

142. Муханин, И.В. Научное обоснование системы производства посадочного материала для интенсивных насаждений яблони и модели садов. Дис. ... доктора с.-х. наук / И.В. Муханин. – Москва, 2011. – 451 с.

143. Небел, Б. Наука об окружающей среде. Как устроен мир : в 2 т. / Б. Небел ; перевод с англ. М.В. Зубкова и др. – Москва : Мир, 1993. – Т.1. – 424 с.

144. Никитишен, В.И., Терехова, Л.М., Личко, В.И. Формирование ассимиляционного аппарата и продуктивность фотосинтеза растений в различных условиях минерального питания / В.И. Никитишен, Л.М. Терехова, В.И. Личко // Агрохимия. – 2007. – № 8. – С. 35–43.

145. Новосельцев, В.Н. Системные аспекты гомеостаза / В.Н. Новосельцев // Гомеостаз, на различных уровнях организации биосистемы : Сб. науч. тр. – Новосибирск, 1991. – С. 3–18.

146. Носоненко, Н.А. Влияние минерального питания на фосфорный обмен у яблони / Н.А. Носоненко // Кр. тез. докл. второй Всесоюз. конф. молодых ученых по садоводству. – Мичуринск, 1976. – С. 110–111.

147. Овчаренко, Г.А. [и др.]. Компартиментация нитратов в клетках корня проростков бобовых и злаков / Г.А. Овчаренко, Т.А. Никифорова, Е.М. Худякова, С.Ф. Измайлов // Физиология растений. – 1990. – Т. 37, вып. 4. – С. 642–650.

148. Панников, В.Д., Минеев, В.Г. Почва, климат, удобрение и урожай / В.Д. Панников, В.Г. Минеев. – Москва : Колос, 1977. – 413 с.

149. Петербургский, А.В. Агрохимия и физиология питания растений / А.В. Петербургский. – Москва : Россельхозиздат, 1981. – 184 с.

150. Петрушин, В.Н., Бобрович, Л.В. Использование некоторых метеорологических параметров в математической оценке динамики роста яблони / В.Н. Петрушин, Л.В. Бобрович // Научные основы устойчивого садоводства в России : докл. конф. 11-12 марта 1999 г. – Мичуринск, 1999. – С. 163–166.

151. Плешков, Б.П. Биохимия сельскохозяйственных растений / Б.П. Плешков. – М : Колос, 1985. – 495 с.
152. Плодородие почвы [текст] // Большая российская энциклопедия : в 35 т. / гл. ред. Ю.С. Осипов. – Москва, 2014. – Т. 26. – С. 435.
153. Подгорная, М.Е. [и др.]. Повышение адаптивного потенциала садовой агроэкосистемы с помощью удобрения АВА / М.Е. Подгорная, Е.М. Сторчевая, Г.В. Якуба, И.И. Новикова // Садоводство и виноградарство. – 2004. – №2. – С. 11–13.
154. Полевой, В.В. Физиология растений : Учебн. для биол. спец. вузов / В.В. Полевой. – Москва : Высшая школа, 1989. – 464 с.
155. Попова, В.П. [и др.]. Влияние почвенных условий и приёмов оптимизации питания на продуктивность плодовых насаждений. Науч.-практ. рекомендации / В.П. Попова, Е.А. Черников, Т.Г. Фоменко, О.В. Ярошенко. – Краснодар, 2023. – 40 с.
156. Программно–методические указания по агротехническим опытам с плодовыми и ягодными культурами / Под ред., Н.Д. Спиваковского. – Мичуринск, 1956. – 184 с.
157. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Г.А. Лобанова. – Мичуринск, 1973. – 492 с.
158. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / Под ред., Е.Н. Седова, Г.Л. Огольцовой. – Орёл : ВНИИСПК, 1999. – 608 с.
159. Пухальская, Н.В. Минеральное питание растений в связи с глобальным повышением концентрации CO₂ в атмосфере земли (обзор) / Н.В. Пухальская // С.-х. биология. – 1996. – № 1. – С. 27–40.
160. Расулов, А.Р., Бесланеев, Б.Б., Хагажеев, Х.Х. Проблемы развития интенсивного садоводства в кабардино–балкарской республике / А.Р. Расулов, Б.Б. Бесланеев, Х.Х. Хагажеев // Проблемы развития АПК региона. – 2024. – № 2 (58). – С. 98–104.

161. Расулов, А.Р. Определение структуры прироста фитомассы яблони / А.Р. Расулов // Методика исследований и вариационная статистика в научном плодоводстве : Сб. докл. науч. конф. – Мичуринск, 1998. – Т. 2. – С. 34–36.
162. Рейвн, П., Эверт, Р., Айкхорн, С. Современная ботаника : в 2 т. / П. Рейвн, Р. Эверт, С. Айкхорн. – Москва : Мир, 1990. – Т. 1. – С. 63–71.
163. Рубин, С.С. [и др.]. Питание плодовых культур и прогноз эффективности удобрений / С.С. Рубин, А.А. Бондаренко, Г.К. Карпенчук, В.Ф. Моисейченко // Химия в с/х. – 1976. – № 2. – С. 48–51.
164. Рудай, И.Д. Агроэкономические проблемы повышения плодородия почв / И.Д. Рудай. – Москва : Россельхозиздат, 1985. – 147 с.
165. Сабинин, Д.А. Избранные труды по минеральному питанию растений / Д.А. Сабинин. – Москва : Наука, 1971. – 512 с.
166. Савельев, Н.И., Савельева, Н.Н. Потенциал устойчивости сортов яблони к низкотемпературным стрессорам – важнейший фактор повышения эффективности садоводства / Н.И. Савельев, Н.Н. Савельева // Науч. тр. ГНУ Сев.-Кавказ. зон. НИИ садоводства и виноградарства РАСХН. – 2013. – Т. 1. – С. 66–69.
167. Савельева, Н.Н., Савельев, Н.И. Устойчивость перспективных коммерческих сортов яблони зарубежной селекции к низким температурам / Н.Н. Савельева, Н.И. Савельев // Плодоводство и ягодоводство России. – 2013. – Т. 37. – № 1. – С. 286–289.
168. Садовски А. Удобрения садов, урожай и качество плодов / А. Садовски / Тез. докл. науч.-практ. Межд. конф., Бобтай 12-18 ноябрь, 1990. – Вильнюс, 1990. – С. 14–16.
169. Сайдалиев У., Узганбаев М. Влияние минеральных удобрений на урожайность яблони на галечниковых землях Ферганской долины / У. Сайдалиев, М. Узганбаев // Тр. НИИ садоводства, виноградарства и виноделия им. Шредера. – Ташкент, 1987. – С. 49 ; 77–88.

170. Семёнов, В.М., Кудеяров, В.Н. Локальное внесение сульфата аммония под различные сельскохозяйственные культуры / В.М. Семёнов, В.Н. Кудеяров // Химия в с/х. – 1983. – Т. 1. – № 6. – С. 44–49.
171. Семенюк, Г.М. Диагностика минерального питания плодовых культур / Г.М. Семенюк. – Кишинев, 1983. – 322 с.
172. Современная система минерального питания и удобрения плодовых и ягодных растений / А.К. Кондаков, Ю.В. Трунов [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 2. – С. 22–23.
173. Соколов, А.В., Шконде, Э.И. Агрохимическая характеристика почв СССР (районы Центральной черноземной полосы и Молдавский ССР) / А.В. Соколов, Э.И. Шконде – Москва : АН СССР, 1963. – С.40–49.
174. Соколов, О.А. Практические советы по снижению содержания нитратов в продуктах питания / О.А. Соколов. – Пущино, 1991. – 45 с.
175. Соколов, О.А., Семёнов, В.М. Методология оценки азотного питания сельскохозяйственных культур / О.А. Соколов, В.М. Семёнов // Агрохимия. – 1994. – № 9. – С. 137–149.
176. Соловьёв, И.С. О почвенной и листовой диагностике минерального питания подвоев / И.С. Соловьёв // Интенсификация садоводства в Нечернозёмной полосе : сб. науч. тр. – 1989. – С. 75–83.
177. Соловьёв, А.В. Продуктивность сортов яблони в интенсивных садах Липецкой области / А.В. Соловьёв, Ю.В. Трунов, И.В. Куличихин // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36. – № 12. – С. 5–9.
178. Соловьёв, А.В. Современный промышленный сортимент яблони и интенсивные технологии в средней полосе России / А.В. Соловьёв, Ю.В. Трунов, М.Л. Дубровский // Наука и Образование. – 2021. – Т. 4. – №. 4.32.
179. Спиваковский, Н.Д. Удобрение плодовых и ягодных культур / Н.Д. Спиваковский. – Москва : Россельхозиздат, 1984. – 270 с.
180. Танасьев, В.К., Барбарош, М.М. Влияние сорта, подвоя и уровня минерального питания на развитие корневой системы яблони / В.К. Танасьев,

М.М. Барбарош // Интенсификация плодовоговодства : сб. науч. тр. – Кишинев, 1982. – С. 47–50.

181. Танасьев, В.К. Влияние удобрений на содержание N, P, K в листьях яблони / В.К. Танасьев // Современные проблемы интенсификации плодовоговодства : Сб. науч. тр. – Кишинев. – 1985. – С. 34–37.

182. Тарасов, В.М., Маймусова, Л.В., Коваленко, В.Ф. Рост и продуктивность молодых яблонь в зависимости от способа, норм внесения минеральных удобрений и предпосадочной подготовки почвы / В.М. Тарасов, Л.В. Маймусова, В.Ф. Коваленко // Известия Тимирязевской, с.х. академии. – 1986. – Вып. 6. – С. 129–138.

183. Тартачник, И.И. Влияние высоких доз азотных удобрений на морозоустойчивость, ростовые процессы и качество плодов яблони / И.И. Тартачник // Садоводство и виноградарство. – 1997. – № 3. – С. 7–9.

184. Теренько, Г.Н. Факторы экологической среды и их влияние на продуктивность сада / Г.Н. Теренько // Экология и промышл. сад-во : Сб. науч. тр. – Мичуринск. – 1992. – С. 22–31.

185. Трунов, А.Ю. [и др.]. Влияние азотных удобрений на количество и среднюю массу плодов на деревьях яблони в интенсивном саду / А.Ю. Трунов, А.И. Кузин, Ю.В. Трунов, С.А. Брюхина, А.Ю. Медеяева. – Текст : электронный // Наука и образование. – Изд. ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ, 2025 [а]. – Т.8. – №2. – URL : <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/7579> (Дата обращения: 20.12.2025).

186. Трунов, А.Ю. [и др.]. Влияние азотных удобрений на прирост биомассы и урожайность плодов у деревьев яблони в интенсивном саду / А.Ю. Трунов, А.И. Кузин, Ю.В. Трунов, С.А. Брюхина, А.Ю. Медеяева. – Текст : электронный // Наука и образование. – Изд. ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ, 2025 [б]. – Т.8. – №2. – URL : <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/7580> (Дата обращения: 20.12.2025).

187. Трунов, А.Ю. [и др.] Влияние некорневых подкормок специальными удобрениями на повышение качества саженцев яблони в питомнике / А.Ю.

Трунов, Ю.В. Трунов, С.А. Брюхина, А.Ю. Медеяева, Н.А. Чеботарёв. – Текст : электронный // Наука и образование. – Изд. ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ, 2024 [а]. – Т.7. – №3. – URL : <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/6871> (Дата обращения: 20.12.2025).

188. Трунов, А.Ю. [и др.]. Влияние некорневых подкормок специальными удобрениями на эффективность выращивания саженцев яблони в питомнике / А.Ю. Трунов, Ю.В. Трунов, С.А. Брюхина [и др.]. – Текст : электронный // Наука и образование. – Изд. ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ, 2024 [б]. – Т.7. – №3. – URL : <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/6866> (Дата обращения: 20.12.2025).

189. Трунов, А.Ю. [и др.]. Влияние урожайности яблони в интенсивном саду на содержание в листьях азота / А.Ю. Трунов, А.И. Кузин, Ю.В. Трунов, С.А. Брюхина, А.Ю. Медеяева. – Текст : электронный // Наука и образование. – Изд. ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ, 2025 [в]. – Т.8. – №1. – URL : <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/7402> (Дата обращения: 20.12.2025)

190. Трунов, А.Ю. [и др.]. Влияние урожайности яблони в интенсивном саду на содержание в листьях калия / А.Ю. Трунов, А.И. Кузин, Ю.В. Трунов, С.А. Брюхина, А.Ю. Медеяева. – Текст : электронный // Наука и образование. – Изд. ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ, 2025 [г]. – Т.8. – №1. – URL : <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/7399> (Дата обращения: 20.12.2025)

191. Трунов, А.Ю. [и др.]. Динамика роста штамба и вегетативной биомассы яблони в интенсивном саду / А.Ю. Трунов, А.И. Кузин, Ю.В. Трунов, С.А. Брюхина, А.Ю. Медеяева. – Текст : электронный // Наука и образование. – Изд. ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ, 2025 [д]. – Т.8. – №2. – URL : <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/7581> (Дата обращения: 20.12.2025)

192. Трунов, А.Ю. [и др.]. Динамика формирования листьев на деревьях яблони в интенсивном саду / А.Ю. Трунов, А.И. Кузин, Ю.В. Трунов, С.А. Брюхина, А.Ю. Медеяева. – Текст : электронный // Наука и образование. – Т.8. – №2. – Изд. ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ, 2025 [е]. – URL : <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/7582> (Дата обращения: 20.12.2025)

193. Трунов, А.Ю. [и др.]. Зависимость биомассы деревьев яблони от диаметра штамба в интенсивном саду / А.Ю. Трунов, Ю.В. Трунов, С.А. Брюхина, А.Ю. Медеяева. – Текст : электронный // Наука и образование. – Изд. ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ, 2024 [ж]. – Т.7. – №2. – URL : <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/6734> (Дата обращения: 20.12.2025)
194. Трунов, А.Ю., Кузин, А.И., Трунов, Ю.В. Влияние азотных удобрений на продуктивность яблони в интенсивном саду / А.Ю. Трунов, А.И. Кузин, Ю.В. Трунов // Актуальные вопросы современного садоводства и питомниководства. VI Потаповские чтения : Матер. Всерос. нац. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию со дня рожд. В.А. Потапова (Мичуринск 14 ноября 2024 г.). – 2024. – С. 269–273.
195. Трунов, А.Ю., Кузин, А.И., Трунов, Ю.В. Влияние урожайности деревьев яблони на содержание в листьях азота и калия в интенсивном саду // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2025 [а]. – № 1 (80). – С. 31–36.
196. Трунов, А.Ю., Кузин, А.И., Трунов, Ю.В. Динамика агробиологических показателей вегетативного роста яблони в интенсивном саду / А.Ю. Трунов, А.И. Кузин, Ю.В. Трунов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2025 [б]. – № 2 (81).
197. Трунов, А.Ю. [и др.]. Оценка динамики продуктивности яблони в интенсивных садах / А.Ю. Трунов, Ю.В. Трунов, С.А. Брюхина, А.Ю. Медеяева. – Текст : электронный // Наука и образование. – Изд. ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ, 2024 [в]. – Т.7. – №4. – URL : <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/7031> (Дата обращения: 20.12.2025)
198. Трунов, А.Ю. [и др.]. Оценка урожайности зимних сортов яблони в интенсивных садах Центрально-Черноземного региона / А.Ю. Трунов, Ю.В. Трунов, С.А. Брюхина, А.Ю. Медеяева. – Текст : электронный // Наука и образование. – Изд. ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ, 2024 [г]. – Т.7. – №4. – URL : <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/7032> (Дата обращения: 20.12.2025).

199. Трунов, А.Ю. [и др.]. Урожайность яблони в интенсивных садах Центрально-Черноземного региона России / А.Ю. Трунов, Ю.В. Трунов, С.А. Брюхина, А.Ю. Медеяева // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2024. – № 4 (79). – С. 40–43.
200. Трунов, А.Ю., Трунов, Ю.В. Влияние азотных удобрений на компоненты биологической продуктивности яблони в Центрально-Чернозёмном регионе. – DOI 10.31360/2225-3068-2025-93-171-187. – Текст : электронный // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2025. – № 93. – С. 171–187. – URL : <https://journal.subtropas.ru/en/archive/93/12/> (Дата обращения: 20.12.2025).
201. Трунов, И.А. Влияние засухи на корни плодовых и ягодных культур / И.А. Трунов // Садоводство и виноградарство. – 1996. – № 5–6. – С. 7–10.
202. Трунов, Ю.В. Биологические основы минерального питания яблони : науч. издание / Ю.В. Трунов. – Воронеж : Кварта, 2016. – 418 с.
203. Трунов, Ю.В., Гришутина, Т.Н. Динамика содержания гумуса и элементов минерального питания в почве интенсивного сада / Ю.В. Трунов, Т.Н. Гришутина // Высшая школа и проблемы научного обеспечения агропромышленного комплекса : Мат-лы науч. конф., посвящ. 275-летию Российской академии наук. – Мичуринск, 1998. – Ч. 1. – С. 21–24.
204. Трунов, Ю.В., Кузин, А.И. Слаборослые подвои яблони селекции, В.И. Будаговского в российском и зарубежном садоводстве / Ю.В. Трунов, А.И. Кузин // 100-летие профессора, В.И. Будаговского. Сады будущего : Сб. мат. междун. науч.-практ. конф. – Мичуринский ГАУ. – 2011. – С. 44–53.
205. Трунов, Ю.В. Минеральное питание и удобрение яблони : науч. издание / Ю.В. Трунов. – Мичуринск-Наукоград РФ ; Воронеж : Кварта, 2010. – 400 с.
206. Трунов, Ю.В. Минеральное питание и урожайность яблони на слаборослых клоновых подвоях / Ю.В. Трунов. – Мичуринск : Изд-во МичГАУ, 2003. – 188 с.
207. Трунов, Ю.В. Минеральное питание клоновых подвоев и саженцев яблони / Ю.В. Трунов. – Мичуринск : Изд-во МичГАУ, 2004. – 175 с.

208. Трунов, Ю.В. Минеральное питание плодовых растений и баланс элементов в агроэкосистемах / Ю.В. Трунов // Главный агроном. – 2007. – № 8. – С. 39–42.

209. Трунов, Ю.В., Соловьев, А.В. Современные тренды развития садоводства средней полосы России / Ю.В. Трунов, А.В. Соловьев. – Текст : электронный // Наука и образование. – Изд. ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ, 2021. – Т. 4. – № 3. – URL : <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/4035> (Дата обращения: 20.12.2025).

210. Трунов, Ю.В., Соловьев, А.В., Трунов, А.Ю. Экономическая эффективность производства плодов яблони в интенсивных насаждениях // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2024. – № 4 (79). – С. 12–17.

211. Трунов, Ю.В., Трунов, А.Ю., Загиров, Н.Г. Динамика урожайности яблони в интенсивных садах средней полосы России / Ю.В. Трунов, А.Ю. Трунов, Н.Г. Загиров. – DOI 10.31360/2225-2024-90-115-127. – Текст : электронный // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2024. – № 90. – С. 115–127. – URL : <https://journal.subtropas.ru/archive/90/9/> (Дата обращения: 20.12.2025).

212. Трунов, Ю.В., Трунов, А.Ю., Брюхина, С.А., Медеяева, А.Ю. Повышение качества саженцев яблони и эффективности их выращивания при некорневых подкормках специальными удобрениями / Ю.В. Трунов, А.Ю. Трунов, С.А. Брюхина, А.Ю. Медеяева // Достижения науки и техники АПК. – 2024. – Т.38. – № 8. – С. 9–12.

213. Трунов, Ю.В. [и др.]. Продуктивность яблони в интенсивных садах средней полосы России / Ю.В. Трунов, А.Ю. Трунов, С.А. Брюхина, А.Ю. Медеяева, Д.Б. Медеяев // Сб. науч. тр. науч.-практ. конф. «Новые знания и инновационные технологии – в развитие современного садоводства». – Мичуринск, 2024 [а]. – С. 92–98.

214. Трунов, Ю.В. [и др.]. Применение некорневых подкормок удобрениями в питомнике для повышения качества и эффективности выращивания

посадочного материала яблони / Ю.В. Трунов, А.Ю. Трунов, С.А. Брюхина, А.Ю. Медеяева, Д.Б. Медеяев // Сб. науч. тр. науч.-практ. конф. «Новые знания и инновационные технологии – в развитие современного садоводства». – Мичуринск, 2024 [6]. – С. 85–91.

215. Трунов, Ю.В., Трунова, Л.Б. Достижения и проблемы российской науки в области минерального питания садовых растений / Ю.В. Трунов, Л.Б. Трунова // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2013. – №23(5). – С. 121–130.

216. Турчин, В.Ф. Взаимодействие азота, фосфора и калия в питании растений при использовании ими нитратных и аммонийных форм азота / В.Ф. Турчин // Азотное питание растений и применение азотных удобрений : Сб. науч. трудов. – Москва : Колос, 1972. – С. 147–155.

217. Удовенко, Г.В. Влияние калия и хлора на фотосинтетическую деятельность растений / Г.В. Удовенко // Агрохимия. – 1965. – № 3. – С. 116–121.

218. Узганбаев, М.У. Рост и плодоношение яблони при различном азотном питании / М.У. Узганбаев // Садоводство, виноградарство и виноделие Молдавии. – 1985. – № 3. – С. 22–24.

219. Ульянич, Е.И. Эффективность азотных удобрений в насаждениях яблони / Е.И. Ульянич // Современные проблемы плодоводства : Тезисы докладов науч. конф., посвящённой 70-летию Белорусского науч.-исслед. ин-та плодоводства 9-13 октября 1995 г. – Самохваловичи, 1995. – 89 с.

220. Урсуленко, П.К. Физиологические основы агротехники ежегодного урожая и высокой морозоустойчивости яблони / П.К. Урсуленко // Бюл. науч.-тех. информ. ВНИИС им. И.В. Мичурина. – Мичуринск, 1956. – С. 3–9.

221. Фауст, М. Физиология плодовых деревьев умеренной зоны США / М. Фауст; пер. с англ., ред. и предисловие, Ю.Л. Кудасова. – Орёл, 2000. – 289 с.

222. Фёдоров, А.А., Вахмистров, Д.Б. Влияние соотношений между питательными элементами в среде на минеральный состав растений в связи с их избирательной способностью / А.А. Фёдоров, Д.Б. Вахмистров // Агрохимия. – 1980. – № 8. – С. 93–101.

223. Фидлер, В. Влияние питательных веществ на синтез [текст] / В. Фидлер // Физиология плодовых растений / Под ред. Р. П. Кудрявца ; пер. с нем. Л.К.Садовской и [др.]. – Москва : Колос, 1983. – С. 173–190.
224. Фидлер, В. Листовой анализ в плодоводстве / В. Фидлер. – Москва : Колос, 1970. – 94 с.
225. Фоменко, Н.М. Влияние минеральных удобрений на питательный режим почвы, химический состав листьев и урожайность яблони / Н.М. Фоменко // Науч. тр. УСХА : Удобрение плодовых деревьев и система содержания почвы в садах. – Киев. – 1975. – С. 55–59.
226. Фоменко, Т.Г. [и др.] К методике агрохимического обследования плодовых насаждений интенсивного типа и расчета дифференцированных доз применения минеральных удобрений / Т.Г. Фоменко, В.П. Попова, Н.Г. Пестова, Е.А. Черников // Агрохимия. – 2017. – № 3. – С. 79–91.
227. Хамурзаев, С.М. Рациональный способ использования удобрений в садах интенсивного типа / С.М. Хамурзаев, Р.Б. Борзаев, Х.А. Хусайнов // Плодородие. – 2017. – № 1 (94). – С. 23–25.
228. Харламова, Т.А. Продуктивность яблони в садах с ограниченным сроком эксплуатации на разных фонах минерального питания : Автореф. дисс.... канд. с.-х. наук / Т.А. Харламова. – Алма-Ата, 1995. – 26 с.
229. Ходжаева, Н.А. Влияние длительного применения минеральных удобрений на рост корневой системы яблони / Н.А. Ходжаева // Сб. науч тр. НИИ садоводства, виноградарства и виноделия имени Шредера. – Ташкент, 1980. – Вып. 41. – С. 48–50.
230. Церлинг, В.В. О химической диагностике потребности в удобрениях садовых культур [текст] / В.В. Церлинг // Методические указания по Географической сети опытов с удобрениями. – Москва, 1963. – Вып. 9. – С. 35–45.
231. Церлинг, В.В. Агрохимические основы диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур / В.В. Церлинг. – Москва, 1978. – 216 с.
232. Церлинг, В.В. Диагностика минерального питания с.-х. культур : справочник / В.В. Церлинг. – Москва : Агропромиздат, 1990. – 235 с.

233. Чекан, А.С. Влияние раздельного и совместного применения органических и минеральных удобрений на пищевой режим почвы, физиологическое состояние и продуктивность спуровых сортов яблони / А.С. Чекан // Физиологические особенности роста и развития плодовых растений в условиях интенсивной культуры : Сб. науч. тр. – Кишинев, 1988. – С. 80–89.

234. Челомбитько, М.А. Влияние снижения кроны и азотных удобрений на урожайность яблони / М.А. Челомбитько // Кр. тез. докл. конф. «Проблемы повыш. эффект. совр. садоводства». – Минск. – 1982. – С. 9–11.

235. Черняева, И.И. Экологические проблемы использования азотных удобрений / И.И. Черняева // Химизация сельского хозяйства. – 1990. – № 4. – С. 20–21.

236. Чечиль, В.И., Сухойван, А.Г. Эффективность минеральных удобрений в насаждениях яблони / В.И. Чечиль, А.Г. Сухойван // Садоводство, виноградарство и виноделие Молдавии. – 1995. – № 3. – С. 17–19.

237. Шагина, Т.В. Влияние некоторых агротехнических мероприятий на качество и лежкость плодов яблони : Автореф. дисс... канд. с.-х. наук / Т.В. Шагина. – Москва, 1975. – 25 с.

238. Шафран, С.А. Прогнозирование обеспеченности подвижными формами фосфора и калия почв нечернозёмной зоны / С.А. Шафран // Агрохимия. – 1977. – № 5. – С. 5–12.

239. Швагждис, С. Удобрение яблони азотом в интенсивном саду / С. Швагждис // Слаборослые клоновые подвой в садоводстве : Сб. науч. тр. – Мичуринск, 1997. – С. 70–71.

240. Шестопалова В. Влияние минерального питания на содержание питательных веществ в растительных органах яблони и урожай / В. Шестопалова // Эффективное применение удобрений в садоводстве и виноградарстве : сб. науч. тр. Молдавский НИИ сад-ва, виноградарства и виноделия. – Кишинев, 1975. – С. 96–98.

241. Шилов, И.А. Экология / И.А. Шилов. – Москва : Высшая школа, 1997. – 512 с.

242. Шорохов, С.С., Руденко, К.Н. Биологический вынос и отчуждение элементов питания молодыми деревьями яблони на разных фонах удобрений / С.С. Шорохов, К.Н. Руденко // Наука – производству : сб. науч. тр. – Т. 10. – Ч. 2. – Тула, 1980. – С. 74–79.
243. Шумахер Р. Продуктивность плодовых деревьев (Регулирование, плодоношения и улучшение качества плодов) / Р. Шумахер. – Москва, 1979. – 268 с.
244. Щеглов, С.Н. Математические методы в биологии. Реализация с использованием пакета STATISTICA 5.5. / С.Н. Щеглов. – Краснодар : Кубанский гос. ун-т, 2004. – 36 с.
245. Щедрин, В.Н., Бурдун, А.А. Минеральные удобрения и эффективность их применения / В.Н. Щедрин, А.А. Бурдун // Агрохимический вестник. – 1999. – № 5. – С. 18–20.
246. Юрьев, А.Н. Диагностика минерального питания слаборослых деревьев яблони в условиях ЦЧО / А.Н. Юрьев // Исследования по биологии, агротехнике и селекции плодовых культур : Сб. науч. тр. – № 93. Воронеж, 1998. – С. 148–159.
247. Юшков, А.Н., Савельева, Н.Н., Земисов, А.С. Перспективные сорта яблони для промышленного садоводства / А.Н. Юшков, Н.Н. Савельева, А.С. Земисов // Современные тенденции повышения эффективности садоводства России : Мат-лы науч.-практ. конф. – 2019. – С. 19–25.
248. Ягодин, Б.А., Жуков, Ю.П., Кобзаренко, В.И. Агрохимия / Под ред., Б.А. Ягодина. – Москва : Колос, 2002. – 584 с.
249. Язвицкий, М.Н. Удобрение сада / М.Н. Язвицкий. – Москва : Московский рабочий, 1972. – 256 с.
250. Якименко, В.Н., Носов, В.В. Действие и последствие калийных удобрений в Западной Сибири / В.Н. Якименко, В.В. Носов // Питание растений. Вестник Международного института питания растений. – 2016. – № 2. – С. 9–13.

251. Baier J., Baierova V. Živý rostlin, hnojiv a půd / J. Baier, V. Baierova // Agrochemia. – 1985. – Vol. 25. – № 6. (příloha). – Pp. 161–164
252. Barry, D.A. Interpretation of leaching under multiple fertilizer applications / D.A. Barry // J. Soil. Sci. – 1985. – Vol. 36. – № 1. Pp. 9–20.
253. Bizik J. Nevyhnutost racionané výživy rostlin – aktuální problém současného zemědělství / J. Bizik // Agrachemia. – 1994. – Vol. 34. – № 1. – Pp. 6–8.
254. Børgesen P. Belastung der Gewässer durch Bodennutzung, insbesondere durch Düngung / P. Børgesen // Beachtung Ökologischer Grenzen bei der Landwirtschaft. – 1981. – Pp. 146–151.
255. Bramlage W. The influence of mineral nutrition on the quality and storage performance of fruits grown in North America / W. Bramlage, M. Drake, W. Lord // Acta Horticulturae 1980. – Pp. 28–39.
256. Clarkson, D.T. Regulation of the absorption and release of nitrate by plant cell: a review of current ideas and methodology / D.T. Clarkson // Fundamental, ecological and agricultural aspects of nitrogen metabolism in higher plants. – Dordrecht; Boston; Lancaster : Martinus Nijhoff Publishers, 1986. – Pp. 3–27.
257. Coleman, J.S., Rochefort L., Bazzaz, F.A. Atmospheric CO₂, plant nitrogen status and the susceptibility of plants to an acute increase in temperature / J.S. Coleman, L. Rochefort, F.A. Bazzaz // Plant, Cell and Environ. – 1991. – Vol. 14, №7. – Pp. 667–674.
258. Damaška J. Nnojení a vymývání živů z různých půdně-ekologických podmínek / J. Damaška // J. Rostlinná výroba. – 1985. – Vol. 11. – Pp. 1123–1130.
259. Gruppe W. Untersuchungen zur Kalium, Kalzium und Magnesium Ernährung junger Apfelbäume / W. Gruppe // Gartenbauwissenschaft. – 1960. – Pp. 228–320.
260. Hauness J. Some observations on the effects of grassing down nitrogen fertilization and irrigation on the growth, leaf nutrient content and fruit quality of young Golden Delicious apple trees / J. Hauness // J. Sci. Food and Agr. – 1981. – Vol. 32. – № 10. – Pp. 1005–1013.

261. Hinz, M. Über Düngung und optimalen Ertrag bei Apfelbäumen / M. Hinz // Gärtnerpost. – 1988. – Vol. 40. – Pp. 11–13.
262. Hirose, T., Kitajima, T. Nitrogen Uptake and Plant Growth. I. Effect of Nitrogen Removal on Growth of *Poligonum cuspidatum* / T. Hirose, T. Kitajima // Annals of Botany. – 1986. – Vol. 58. – № 4. – Pp. 479–486.
263. Huett, D.O. Prospects for manipulating the vegetative – reproductive balance in horticultural crops through nitrogen nutrition / D.O. Huett // Austral J. Agr. Res. – 1996. – vol. 47. – № 1. Pp. 47–66.
264. Jones, O.P. Effects of dwarfing interrootstocks on xylem sap composition in apple trees. Effect on nitrogen, potassium, calcium and magnesium content / O.P. Jones // Annals of Botany. – 1976. – Vol. 40. № 170. – Pp. 1231–1235.
265. Kotze, W. Shear, G., Faust, M. Effect of nitrogen source and the presence or absence of aluminium on the growth and calcium nutrition of apple seedlings / W. Kotze, G. Shear, M. Faust // J. Amer.Soc. Hortic. Sci. – 1976. – № 3. – P. 101.
266. Lalatta, F. Influenza della ecologia e della coltura sulla conservazione / F. Lalatta // Agricoltura. – 1966. – vol. 15. – № 15. – P. 704.
267. Лехова Е., Дойчев К. Влияние на различни режими на непояване и азотно торене върху химичния състав на листата на плододаващи ябълкови вървета, формирани като свободно растящи раст / Е. Лехова, К. Дойчев // Почвознание, агрохимия и растит. защита. – 1957. – Т. 22. – № 1. – С. 43–52.
268. Lewis, T. [et al.] The effects of increasing the supply of nitrogen, phosphorus, calcium and potassium to the roots of Merton Worcester apple trees, leaf and fruit composition and the incidence of bitter pit at harvest / T. Lewis, D. Martin, J. Cerny, D. Kartowsky // J. Hort. Sci. – 1977. – Vol. 52. – № 3. – Pp. 409–419.
269. Lopez, R.J. Diagnóstico precoz del bitter pit and nan zano, mediante análisis foliar / R.J. Lopez // Levante agr. – 1972. – vol. 11, No 128. – Pp. 23–25.
270. Matousch O. Formy dusíku v hnojivech a jejich pohyb v půdě / O. Matousch // Rostlinná výroba. – 1982. – Vol. 28. – Pp. 1011–1018.

271. Matsumoto, H., Teraoka, K., Kawasaki, T. Repression of nitrate reductase in cucumber leaves caused by calcium deficiency / H. Matsumoto, K. Teraoka, T. Kawasaki // *Plant and cell Physiology*. – 1980. – Vol. 21. – № 1. – Pp. 183–191.

272. Melillo, I.M., Aber, I.D., Muratote, I.F. Nitrogen and lignin control of terrestrial plant litter production / I.M. Melillo, I.D. Aber, I.F. Muratote // *Ecology*. – 1982. – Vol. 63. – Pp. 621–626.

273. Miller, S.S. Responce of young "Top Red Delicious" apple trees to orchard floor managment and fertilization / S.S. Miller // *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* – 1983. – Vol. 108, № 4. – Pp. 638–642.

274. Modeling the productivity of intensive and super–intensive apple orchard in the midland of Russia / Yu.V. Trunov, A.V. Solovyev, A.A. Zavrazhnov, Z.N. Tarova. – DOI 10.1088/1755-1315/845/1/012043 // 10 Conference Series : Earth and Environmental Science. – Vol. 845, International Conference on Agricultural Science and Engineering 12-14 April 2021. – Michurinsk, Russian Federation, 2021. – URL : <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/845/1/012043> (Дата обращения: 20.12.2025).

275. Natr, L. Influence of Mineral Nutrition on Photosynthesis and the Use of Assimilates / L. Natr // *Photosynthesis and Productivity in Different Environments*. – London : Cambridge Univ. Press, 1975. – P. 537.

276. Nosal K. Wplyw sroznicowanego nawozenia azotem i potasem na sklad chemiczny Zdolnosc przechowalnicza jablek odmian Mcjntosh i Bankroft / K. Nosal // *Ogrodnictwo*. – Krakow, 1986. – Vol. 13. – P. 39–48.

277. Nye, P.H., Tinker, P.B. Solute Movement in the Soil-Root System / P.H. Nye, P.B. Tinker. – Oxford : Blackwell Scientific Publ., 1977. – 342 p.

278. Oberly, G., Poling, E. Effect of rootstock on mineral composition of apple leaves / G. Oberly, E. Poling // *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* – 1979. – Vol. 104. – № 6. – Pp. 799–801.

279. Olszewski T., Augustin M., Szczepanski K. Influence of a rootstock planting density and fertilising on leaf mineral content / T. Olszewski, M. Augustin, K. Szczepanski // *J. Friut and Ornam. Plant Res.* – 1993. – № 4. – Pp. 127–138.

280. Perring, M.A. Mineral composition of apples. VIII. Further investigations into the relationship between composition and disorders of the fruit / M.A. Perring // J. Sci. Fd. Agric. – 1968. – Vol. 10. – Pp. 640–645.

281. Pettersson, S., Tensen, P. Variation among species and varieties in uptake and utilization of potassium / S. Pettersson, P. Tensen // Plant Soil. – 1983. – Vol. 72. – № 2–3. – Pp. 231–237.

282. Rupp, D. Einfluß der Stickstoffdüngung auf die Blattnährstoffgehalte bei Apfelbäumen / D. Rupp // Erwerbs-Obstbau. – 1995. – Vol. 37. – № 1. – Pp. 29–31.

283. Schembecker, F., Ludders P. Einfluss der N-Ernährung auf das generative Wachstum von “Cox” – Unterlagen – Klonkombinationen / F. Schembecker, P. Ludders // Gartenbauwissenschaft. – 1989. – Vol. 54. – Pp. 37–41.

284. Shadchina, T.M. Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen uptake from the soil / T.M. Shadchina // J. Plant Nutr. – 1995. – Vol. 18. – № 7. – Pp. 1427–1437.

285. Stanislavjević, M. Dynamic of mineral nutrients in the bearing wood of differing age in some apple cultivars. Dinamic of macronutrients / M. Stanislavjević // Jugosloven. vocar. – 1992. – Vol. 26. – № 3–4. – Pp.C. 31–41.

286. Stoll, K. Auswahlkriterien für Lageräpfel / K. Stoll // Schweizerische Zeitschrift für Obst und Weibau. – 1974. – VOL. 21. – Pp. 563–588.

287. Stulen, J. Interaction between Nitrogen and Carbon Metabolism in Whole Plant Context // Fundamental, Ecological and Agricultural Aspects of Nitrogen Metabolism in Higher Plants / Eds: Lambert. H., Neeteson, J.J., Stulen J. – Dordrecht; Boston; Lancaster : Martinus Nijhoff Pub., 1986. – Pp. 261–278.

288. Szalai, J. Az alany es a közbcoltott fajta hatasa a Jonatan almofajta leveleinek NPK tartalmara / J. Szalai // A Lippay Janos tud ullsszak Eloadasai. – Budapest, 1977. – S. 723–730.

289. Szücs, E., Mihalyffy, J. Amütragyazas es metszshatasa az ö szibarackfak tapllem – ellatoti sagara es termesnozamara / E. Szücs, J. Mihalyffy // Kertgazdasad. – 1987. – Pp. 81–87.

290. Szücs, E. Effects of fertilization on nutrient supply, yield, growth and hardiness of apricot trees / E. Szücs // *Acta horticulturae*. – 1986. – Vol. 192. – Pp. 137–141.
291. Tracinski T. Neuf ans detudes sur l' evolution desteneurs minerals des fenilles de quatre varieties de pommiers en verger laisse / T. Tracinski // 4 Collog. Int. Contr. Alim. Plant. Cult. – Gent, 1976. – Pp. 1277–1288.
292. Trewavas, A.J. Molecular and Cellular Aspects of Calcium in Plant Development / A.J. Trewavas. – New York : Plenum Press, 1986. – 356 p.
293. Tromp, J., Ovaa, J.C. Effect of time of nitrogen composition of roots and xylem sap of apple / J. Tromp, J.C. Ovaa // *Physiol. Plantarum*. – 1976. – Vol. 37. – № 1. – Pp. 29–34.
294. Tromp J. Nutrient reserves in root of fruit trees in partucular carbonhydrates and nitrogen / J. Tromp // *Plant and Soil*. – 1983. – Vol. 71. – № 3. – Pp. 404–413.
295. Tromp J., Ovaa, J.C. Spring nobilization of storage nitrogen in isolated shoot section of apple / J. Tromp, J.C. Ovaa // *Phisiol. Plantarum*. – 1971. – Vol. 25. – № 1. – Pp. 16–22.
296. Trunov Yu.V. [et al.] Improving the quality of apple tree seedlings and the efficiency of their cultivation with foliar feeding with special fertilizers / Yu.V. Trunov, A.Yu. Trunov, S.A. Bryukhina, A.Yu. Medelyaeva // *Russian Agricultural Sciences*. – 2024. – T. 50. – № 6. – Pp. 674–678.
297. Welte E. Uber den Nährstoffeintrag in Grundwater und Oberflächenglwasseraus Boden und Dungung / E. Welte. – 1982. – 236 p.
298. White, P.J. Broadley, M.R. Calcium in plants / P.J. White, M.R. Broadley // *Annals of Botany*. – 2003. – Vol. 92. – Pp. 487–511.
299. Whitfield A. The effects of stock and scion on the mineral composition of apple leaves / A. Whitfield // *The Jubulee Ann. Report*. – 1963. – P. 107–109.

Акты о внедрении научных разработок

(1/2)

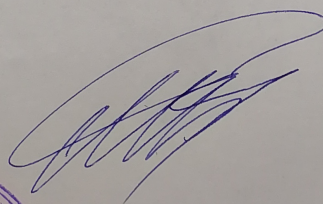
Акт

о внедрении научных разработок

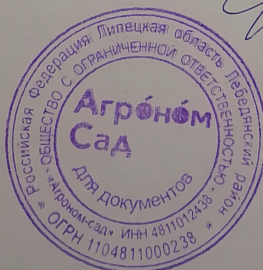
Для повышения ежегодной урожайности более 40 т/га в ООО «Агроном-сад» соискателем ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ Труновым А.Ю. предложена методика расчёта доз удобрений методом элементного баланса (биологического выноса элементов) с использованием дополнительных коэффициентов.

Разработанный и предложенный Труновым Александром Юрьевичем метод определения оптимальной дозы удобрений позволяет повысить экономическую эффективность производства яблок на 8-10% по сравнению с традиционными методиками. В результате внедрения разработок на площади 2,5 га получен экономический эффект 75 тыс. руб./га.

Первый заместитель
генерального директора
ООО «Агроном-сад»



М.С. Рабарбери



Акты о внедрении научных разработок

(2/2)

Акт

о внедрении научных разработок

В процессе совершенствования технологии выращивания яблок в интенсивных яблоневых садах на карликовых подвоях с ежегодной урожайностью более 30 т/га в ЗАО «Агрофирма имени 15 лет Октября» соискателем ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ Труновым А.Ю. предложена методика расчёта доз удобрений на основании почвенных анализов содержания элементов в корнеобитаемом слое почвы (0-60 см) и плановой урожайности яблок (биологического выноса элементов) с использованием поправочных коэффициентов.

Разработанный Труновым Александром Юрьевичем метод определения оптимальной дозы азотных удобрений позволяет повысить экономическую эффективность производства яблок на 10-12% по сравнению с традиционными методами расчёта. В результате внедрения разработок на площади 4,5 га получен экономический эффект 120 тыс. руб./га.

Генеральный директор
ЗАО «Агрофирма имени
15 лет Октября»



Д.Н. Еремеев

Погодные условия Липецкой области

Средняя температура в Липецке (по годам, °С)

Мес. Год	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Сред.
2015	–5,8	–4,4	0,6	6,4	15,6	19,0	18,9	18,2	15,8	3,9	0,7	–0,9	7,3
2016	–10,1	–1,0	0,7	9,1	14,3	18,1	21,4	20,7	11,6	4,6	–2,4	–7,1	6,7
2017	–7,6	–6,6	1,9	7,1	12,8	15,7	18,9	19,8	13,4	5,4	–0,7	0,5	6,7
2018	–6,1	–9,0	–7,1	7,6	16,9	17,8	20,9	20,6	16,3	7,8	–2,5	–6,3	6,4
2019	–8,3	–3,3	–0,2	8,4	16,5	20,5	18,0	18,0	13,2	9,3	0,8	–0,6	7,7
2020	–1,1	–1,7	4,3	5,6	12,2	19,5	20,4	18,4	15,2	9,8	0,6	–6,3	8,1
2021	–5,1	–10,3	–2,2	7,5	15,1	20,2	22,7	22,4	11,2	5,7	2,2	–5,5	7,0
2022	–6,3	–2,6	–3,5	8,4	11,0	19,3	20,3	21,9	10,6	7,8	0,0	–3,2	7,0
2023	–6,7	–5,1	2,4	9,4	13,9	16,8	19,4	20,4	15,0	6,5	1,7	–3,8	7,5
2024	–10,4	–4,7	–1,4	13,1	12,4	20,2	22,3	19,9	17,2	8,9	1,0	–2,2	8,0

Месячные и годовые суммы выпавших осадков в Липецке
(по годам, мм)

Мес. Год	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	За год
2015	3	47	5	52	37	158	78	12	21	13	66	31	542
2016	81	55	51	99	64	57	31	58	26	23	64	25	634
2017	38	22	28	20	20	44	77	99	28	53	79	75	582
2018	33	29	32	39	37	11	46	2	38	44	2	58	370
2019	27	19	36	10	50	22	67	23	13	82	29	19	398
2020	30	38	23	21	61	93	33	30	13	32	41	20	434
2021	68	45	10	46	40	44	38	20	74	5	43	35	467
2022	78	38	46	74	25	33	79	66	116	90	51	80	773
2023	18	20	51	41	11	62	129	53	9	104	94	70	662
2024	65	21	4	14	12	93	22	45	0	29	57	13	375

Расположение метеорологической станции : Липецкая область, Россия, широта 52.7001 долгота 39.5331 высота над уровнем моря 176 м. На сайте: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/27930.htm> – погода в Липецке

Приложение 3.

Показатели биомассы по 6 сортам яблони за 9 лет наблюдений

Сорта	Лобо	Альва	Берку- товское	Лигол	Спартан	Хоней Крисп	Среднее
Биомасса листьев, кг							
2015	0,04	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,04
2016	0,06	0,05	0,05	0,11	0,05	0,06	0,06
2017	0,12	0,11	0,11	0,19	0,12	0,12	0,13
2018	0,19	0,19	0,19	0,27	0,19	0,2	0,21
2019	0,26	0,24	0,25	0,32	0,26	0,26	0,27
2020	0,29	0,27	0,28	0,36	0,29	0,29	0,30
2021	0,33	0,29	0,31	0,39	0,33	0,33	0,33
2022	0,36	0,38	0,33	0,40	0,36	0,36	0,37
2023	0,37	0,41	0,34	0,41	0,38	0,37	0,38
Биомасса стеблей, кг							
2015	0,38	0,33	0,35	0,48	0,35	0,35	0,37
2016	0,56	0,53	0,53	1,08	0,52	0,55	0,63
2017	1,16	1,09	1,09	1,86	1,16	1,17	1,26
2018	1,94	1,85	1,86	2,65	1,92	1,95	2,03
2019	2,56	2,42	2,48	3,24	2,55	2,56	2,64
2020	2,89	2,72	2,78	3,56	2,87	2,94	2,96
2021	3,32	2,94	3,11	3,90	3,31	3,32	3,32
2022	3,55	3,79	3,32	3,95	3,62	3,55	3,63
2023	3,70	4,05	3,43	4,05	3,80	3,70	3,79
Биомасса корней, кг							
2015	0,27	0,24	0,25	0,34	0,25	0,25	0,27
2016	0,40	0,38	0,38	0,77	0,37	0,39	0,45
2017	0,83	0,78	0,78	1,33	0,83	0,84	0,90
2018	1,39	1,32	1,33	1,89	1,37	1,39	1,45
2019	1,83	1,73	1,77	2,31	1,82	1,83	1,88
2020	2,06	1,94	1,99	2,54	2,05	2,1	2,11
2021	2,37	2,1	2,22	2,79	2,36	2,37	2,37
2022	2,54	2,71	2,37	2,82	2,59	2,54	2,60
2023	2,64	2,89	2,45	2,89	2,71	2,64	2,70
Биомасса плодов, кг							
2015	0,48	0,87	0,48	0,86	0,24	0,76	0,61
2016	1,48	1,52	1,40	1,41	1,28	1,27	1,39
2017	3,60	2,60	2,16	2,29	3,24	2,08	2,66
2018	6,36	4,30	3,56	3,63	6,52	3,30	4,61
2019	10,08	6,71	10,60	5,55	7,84	4,97	7,62
2020	11,44	9,73	16,20	8,09	6,36	7,04	9,81
2021	7,52	12,96	9,12	11,09	9,28	9,27	9,87
2022	6,72	15,87	13,00	14,21	7,48	11,36	11,44
2023	20,92	18,12	16,00	17,05	13,28	13,07	16,41

Приложение 4.

Содержание азота (мг/кг) в почве приствольной полосы интенсивного яблоневого сада с различными дозами азотных удобрений с 2020 по 2024 гг.

Варианты \ Годы			до опыта	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	Слой почвы, см	0–20	128,1	126,9	124,7	121,8	119,5	115,7
		21–40	125,2	123,4	120,6	118,1	115,3	112,5
		41–60	119,0	116,7	115,3	113,9	111,5	110,2
		61–80	114,2	112,3	111,6	111,1	110,4	109,6
		81–100	110,2	109,8	109,4	108,7	108,4	108,3
		<i>Среднее</i>	<i>119,3</i>	<i>117,8</i>	<i>116,3</i>	<i>114,7</i>	<i>113,0</i>	<i>111,3</i>
N ₄₅	Слой почвы, см	0–20	128,1	134,0	134,3	135,0	134,9	135,2
		21–40	125,2	123,8	125,5	126,2	126,0	126,5
		41–60	119,0	117,9	119,0	120,2	120,3	119,9
		61–80	114,2	114,4	115,1	114,2	116,1	116,5
		81–100	110,2	109,4	110,1	111,2	111,5	112,9
		<i>Среднее</i>	<i>119,3</i>	<i>119,9</i>	<i>120,8</i>	<i>121,4</i>	<i>121,8</i>	<i>122,2</i>
N ₉₀	Слой почвы, см	0–20	128,1	136,9	140,3	142,4	144,9	146,3
		21–40	125,2	127,0	130,5	132,4	133,4	135,2
		41–60	119,0	121,0	123,3	125,3	126,6	128,2
		61–80	114,2	114,9	117,3	118,6	121,0	123,2
		81–100	110,2	110,5	112,1	114,9	117,5	119,7
		<i>Среднее</i>	<i>119,3</i>	<i>122,1</i>	<i>124,7</i>	<i>126,7</i>	<i>128,7</i>	<i>130,5</i>
N ₁₃₅	Слой почвы, см	0–20	128,1	143,4	148,6	152,0	155,2	158,9
		21–40	125,2	128,9	134,5	139,0	140,7	142,7
		41–60	119,0	121,3	126,2	129,6	132,6	135,9
		61–80	114,2	115,5	119,6	122,9	127,4	130,1
		81–100	110,2	110,9	114,1	117,8	122,5	125,5
		<i>Среднее</i>	<i>119,3</i>	<i>124,0</i>	<i>128,6</i>	<i>132,3</i>	<i>135,7</i>	<i>138,6</i>
N ₁₈₀	Слой почвы, см	0–20	128,1	151,1	158,7	162,3	167,0	171,1
		21–40	125,2	130,8	139,8	145,0	147,5	150,3
		41–60	119,0	122,6	129,1	134,1	137,7	141,4
		61–80	114,2	115,5	121,9	127,6	132,6	136,6
		81–100	110,2	110,5	116,1	121,3	127,8	131,7
		<i>Среднее</i>	<i>119,3</i>	<i>126,1</i>	<i>133,1</i>	<i>138,1</i>	<i>142,5</i>	<i>146,2</i>
N ₂₂₅	Слой почвы, см	0–20	128,1	158,3	167,8	173,4	178,9	180,9
		21–40	125,2	131,4	142,5	150,0	153,2	155,0
		41–60	119,0	123,6	131,3	137,9	143,2	149,5
		61–80	114,2	115,4	123,1	129,8	136,5	141,6
		81–100	110,2	110,2	117,4	124,3	130,0	137,2
		<i>Среднее</i>	<i>119,3</i>	<i>127,8</i>	<i>136,4</i>	<i>143,1</i>	<i>148,4</i>	<i>152,8</i>
N ₂₇₀	Слой почвы, см	0–20	128,1	164,3	175,8	183,2	190,3	194,0
		21–40	125,2	129,4	143,3	152,7	157,0	160,2
		41–60	119,0	125,2	132,7	140,5	147,2	154,4
		61–80	114,2	117,0	124,9	132,2	139,7	147,8
		81–100	110,2	112,1	119,0	126,0	135,0	143,7
		<i>Среднее</i>	<i>119,3</i>	<i>129,6</i>	<i>139,1</i>	<i>146,9</i>	<i>153,8</i>	<i>160,0</i>

Приложение 5. Экспериментальные данные (1/6)

Количество листьев на деревьях, шт									Средняя площадь листовой пластинки, см ²								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО		НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	1435	1422	1472	1451	1478	1451,6	± 24	Лобо	N ₀	31,9	31,4	31,0	30,8	30,8	31,2	± 0,5
	N ₄₅	1424	1476	1509	1525	1532	1493,2	± 44		N ₄₅	31,8	32,1	31,6	30,9	31,3	31,5	± 0,5
	N ₉₀	1428	1521	1573	1584	1592	1539,6	± 68		N ₉₀	31,8	32,9	32,2	32,1	31,9	32,2	± 0,4
	N ₁₃₅	1426	1546	1588	1600	1603	1552,6	± 74		N ₁₃₅	31,8	33,3	32,9	32,5	32,2	32,5	± 0,6
	N ₁₈₀	1426	1573	1604	1618	1615	1567,2	± 81		N ₁₈₀	31,9	33,8	33,6	33,0	32,6	33,0	± 0,8
	N ₂₂₅	1430	1570	1610	1620	1623	1570,6	± 81		N ₂₂₅	32,0	34,6	33,9	33,5	33,0	33,4	± 1
	N ₂₇₀	1432	1582	1612	1624	1630	1576,0	± 83		N ₂₇₀	31,9	34,6	33,8	33,4	32,9	33,3	± 1
Хонейкрип	N ₀	1560	1548	1602	1585	1609	1580,8	± 26	Хонейкрип	N ₀	31,7	30,7	30,3	30,0	30,2	30,6	± 0,7
	N ₄₅	1546	1618	1636	1648	1664	1622,4	± 46		N ₄₅	31,7	32,0	31,9	31,7	31,7	31,8	± 0,1
	N ₉₀	1545	1682	1691	1698	1725	1668,2	± 71		N ₉₀	31,8	33,4	33,6	33,5	33,4	33,1	± 0,8
	N ₁₃₅	1548	1693	1709	1719	1748	1683,4	± 78		N ₁₃₅	31,7	34,1	34,2	34,1	34,0	33,6	± 1,1
	N ₁₈₀	1552	1705	1728	1742	1772	1699,8	± 86		N ₁₈₀	31,6	34,9	34,8	34,8	34,6	34,1	± 1,4
	N ₂₂₅	1551	1712	1740	1758	1761	1704,4	± 88		N ₂₂₅	31,7	35,5	35,6	35,0	35,3	34,6	± 1,6
	N ₂₇₀	1548	1708	1735	1760	1770	1704,2	± 91		N ₂₇₀	31,7	35,6	35,4	34,9	35,2	34,6	± 1,6
Площадь листьев на деревьях, м ²									Диаметр штамба, мм								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО		НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	4,58	4,47	4,56	4,47	4,55	4,525	± 0,05	Лобо	N ₀	44,6	49,0	52,5	55,4	58,3	52,0	± 5,4
	N ₄₅	4,53	4,74	4,77	4,71	4,80	4,708	± 0,11		N ₄₅	44,6	49,1	54,0	57,2	60,9	53,2	± 6,5
	N ₉₀	4,54	5,00	5,07	5,08	5,08	4,955	± 0,23		N ₉₀	44,6	49,1	55,5	59,2	63,8	54,4	± 7,7
	N ₁₃₅	4,53	5,15	5,22	5,20	5,16	5,054	± 0,29		N ₁₃₅	44,7	49,2	56,1	60,0	63,9	54,8	± 7,8
	N ₁₈₀	4,55	5,32	5,39	5,34	5,26	5,172	± 0,35		N ₁₈₀	44,8	49,2	56,8	60,8	64,0	55,1	± 8
	N ₂₂₅	4,58	5,43	5,46	5,43	5,36	5,250	± 0,38		N ₂₂₅	44,7	49,3	57,2	60,1	64,5	55,2	± 8,1
	N ₂₇₀	4,57	5,47	5,45	5,42	5,36	5,255	± 0,39		N ₂₇₀	44,8	49,4	56,7	60,2	64,4	55,1	± 8
Хонейкрип	N ₀	4,95	4,75	4,85	4,76	4,86	4,833	± 0,08	Хонейкрип	N ₀	45,5	49,3	52,8	55,1	58,3	52,2	± 5
	N ₄₅	4,90	5,18	5,22	5,22	5,27	5,159	± 0,15		N ₄₅	45,6	49,4	54,5	57,2	60,2	53,4	± 5,9
	N ₉₀	4,91	5,62	5,68	5,69	5,76	5,533	± 0,35		N ₉₀	45,6	49,5	56,3	59,5	62,2	54,6	± 6,9
	N ₁₃₅	4,91	5,77	5,84	5,86	5,94	5,666	± 0,43		N ₁₃₅	45,7	49,6	57,0	60,2	63,0	55,1	± 7,3
	N ₁₈₀	4,90	5,95	6,01	6,06	6,13	5,812	± 0,51		N ₁₈₀	45,8	49,6	57,7	61,0	63,9	55,6	± 7,7
	N ₂₂₅	4,92	6,08	6,19	6,15	6,22	5,912	± 0,56		N ₂₂₅	45,5	49,7	57,9	61,3	64,2	55,7	± 7,9
	N ₂₇₀	4,91	6,08	6,14	6,14	6,23	5,900	± 0,56		N ₂₇₀	45,6	49,7	58,0	61,2	64,2	55,7	± 7,8
Площадь сечения штамба, см ²									Биомасса листьев сырая, кг/дерево								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО		НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	15,62	18,86	21,65	24,11	26,69	21,39	± 4,34	Лобо	N ₀	0,292	0,338	0,367	0,375	0,391	0,353	± 0,039
	N ₄₅	15,62	18,90	22,87	25,73	29,16	22,46	± 5,37		N ₄₅	0,294	0,354	0,391	0,397	0,415	0,370	± 0,048
	N ₉₀	15,62	18,93	24,19	27,53	31,97	23,65	± 6,54		N ₉₀	0,296	0,371	0,419	0,422	0,442	0,390	± 0,059
	N ₁₃₅	15,69	18,97	24,75	28,26	32,07	23,95	± 6,67		N ₁₃₅	0,296	0,383	0,425	0,433	0,448	0,397	± 0,061
	N ₁₈₀	15,76	19,01	25,34	29,03	32,17	24,26	± 6,82		N ₁₈₀	0,297	0,396	0,431	0,444	0,454	0,404	± 0,064
	N ₂₂₅	15,69	19,09	25,70	28,37	32,67	24,30	± 6,89		N ₂₂₅	0,299	0,399	0,444	0,443	0,462	0,409	± 0,066
	N ₂₇₀	15,76	19,17	25,25	28,46	32,57	24,24	± 6,82		N ₂₇₀	0,293	0,390	0,448	0,441	0,462	0,407	± 0,069
Хонейкрип	N ₀	16,26	19,09	21,90	23,84	26,69	21,56	± 4,06	Хонейкрип	N ₀	0,292	0,336	0,367	0,386	0,402	0,357	± 0,044
	N ₄₅	16,30	19,17	23,32	25,71	28,45	22,59	± 4,9		N ₄₅	0,291	0,361	0,396	0,417	0,440	0,381	± 0,058
	N ₉₀	16,33	19,24	24,89	27,81	30,39	23,73	± 5,86		N ₉₀	0,291	0,391	0,431	0,453	0,486	0,410	± 0,075
	N ₁₃₅	16,40	19,28	25,51	28,50	31,21	24,18	± 6,21		N ₁₃₅	0,290	0,403	0,442	0,467	0,500	0,420	± 0,081
	N ₁₈₀	16,47	19,32	26,15	29,22	32,07	24,65	± 6,58		N ₁₈₀	0,290	0,416	0,454	0,482	0,515	0,431	± 0,087
	N ₂₂₅	16,26	19,40	26,33	29,51	32,37	24,77	± 6,78		N ₂₂₅	0,292	0,421	0,467	0,495	0,511	0,437	± 0,088
	N ₂₇₀	16,33	19,40	26,42	29,42	32,37	24,79	± 6,75		N ₂₇₀	0,297	0,421	0,460	0,492	0,513	0,437	± 0,085
Биомасса ветвей и ствола сырая, кг/дерево									Биомасса корней сырая, кг/дерево								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО		НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	2,896	3,126	3,522	3,725	3,917	3,437	± 0,421	Лобо	N ₀	2,169	2,358	2,512	2,664	2,790	2,499	± 0,245
	N ₄₅	2,935	3,192	3,693	3,924	4,149	3,579	± 0,505		N ₄₅	2,122	2,381	2,657	2,833	2,986	2,596	± 0,347
	N ₉₀	3,046	3,324	3,869	4,130	4,392	3,752	± 0,558		N ₉₀	2,177	2,405	2,806	3,008	3,191	2,717	± 0,42
	N ₁₃₅	3,049	3,361	4,054	4,331	4,616	3,882	± 0,659		N ₁₃₅	2,254	2,483	2,974	3,199	3,401	2,862	± 0,482
	N ₁₈₀	3,042	3,430	4,170	4,452	4,750	3,969	± 0,713		N ₁₈₀	2,281	2,502	3,073	3,310	3,522	2,938	± 0,529
	N ₂₂₅	2,983	3,415	4,262	4,569	4,872	4,020	± 0,795		N ₂₂₅	2,294	2,527	3,161	3,369	3,635	2,997	± 0,567
	N ₂₇₀	2,984	3,425	4,231	4,526	4,865	4,006	± 0,781		N ₂₇₀	2,303	2,529	3,148	3,372	3,637	2,998	± 0,564
Хонейкрип	N ₀	3,054	3,471	3,542	3,701	3,910	3,536	± 0,318	Хонейкрип	N ₀	2,115	2,370	2,545	2,640	2,792	2,492	± 0,261
	N ₄₅	3,078	3,506	3,727	3,920	4,130	3,672	± 0,405		N ₄₅	2,146	2,393	2,691	2,824	2,975	2,606	± 0,334
	N ₉₀	3,103	3,541	3,920	4,150	4,360	3,815	± 0,501		N ₉₀	2,178	2,416	2,841	3,017	3,165	2,723	± 0,414
	N ₁₃₅	3,131	3,600	4,105	4,362	4,595	3,959	± 0,592		N ₁₃₅	2,212	2,493	3,013	3,21	3,384	2,862	± 0,494
	N ₁₈₀	3,147	3,630	4,222	4,495	4,742	4,047	± 0,652		N ₁₈₀	2,230	2,511	3,116	3,323	3,515	2,939	± 0,547
	N ₂₂₅	3,149	3,667	4,312	4,593	4,850	4,114	± 0,697		N ₂₂₅	2,242	2,553	3,210	3,422	3,628	3,011	± 0,59
	N ₂₇₀	3,143	3,670	4,311	4,600	4,855	4,116	± 0,701		N ₂₇₀	2,242	2,557	3,208	3,427	3,622	3,011	± 0,588

Экспериментальные данные (2/6)

Биомасса ветвей и ствола сухая, кг/дерево									Биомасса корней сухая, кг/дерево								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО		НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	1,214	1,310	1,476	1,562	1,642	1,441	± 0,177	Лобо	N ₀	0,719	0,782	0,833	0,883	0,925	0,829	± 0,08
	N ₄₅	1,230	1,338	1,548	1,645	1,739	1,500	± 0,212		N ₄₅	0,704	0,790	0,881	0,939	0,990	0,861	± 0,12
	N ₉₀	1,277	1,394	1,622	1,731	1,841	1,573	± 0,234		N ₉₀	0,722	0,798	0,930	0,997	1,058	0,901	± 0,14
	N ₁₃₅	1,278	1,409	1,699	1,816	1,935	1,627	± 0,276		N ₁₃₅	0,747	0,823	0,986	1,061	1,128	0,949	± 0,16
	N ₁₈₀	1,275	1,438	1,748	1,866	1,991	1,664	± 0,299		N ₁₈₀	0,756	0,830	1,019	1,098	1,168	0,974	± 0,18
	N ₂₂₅	1,250	1,432	1,787	1,915	2,042	1,685	± 0,333		N ₂₂₅	0,761	0,838	1,048	1,117	1,205	0,994	± 0,19
	N ₂₇₀	1,251	1,436	1,774	1,897	2,039	1,679	± 0,327		N ₂₇₀	0,764	0,839	1,044	1,118	1,206	0,994	± 0,19
Хонейкрипс	N ₀	1,280	1,455	1,485	1,551	1,639	1,482	± 0,133	Хонейкрипс	N ₀	0,701	0,786	0,844	0,875	0,926	0,827	± 0,09
	N ₄₅	1,290	1,470	1,562	1,643	1,731	1,539	± 0,17		N ₄₅	0,712	0,794	0,892	0,936	0,987	0,864	± 0,11
	N ₉₀	1,301	1,484	1,643	1,740	1,828	1,599	± 0,21		N ₉₀	0,722	0,801	0,942	1,000	1,050	0,903	± 0,14
	N ₁₃₅	1,313	1,509	1,721	1,829	1,926	1,660	± 0,248		N ₁₃₅	0,734	0,827	0,999	1,064	1,122	0,949	± 0,16
	N ₁₈₀	1,319	1,522	1,770	1,884	1,988	1,697	± 0,273		N ₁₈₀	0,740	0,833	1,033	1,102	1,166	0,975	± 0,18
	N ₂₂₅	1,320	1,537	1,808	1,925	2,033	1,725	± 0,292		N ₂₂₅	0,743	0,847	1,064	1,135	1,203	0,998	± 0,2
	N ₂₇₀	1,318	1,539	1,807	1,928	2,035	1,725	± 0,294		N ₂₇₀	0,744	0,848	1,064	1,136	1,201	0,999	± 0,19
Биомасса листьев сухая, кг/дерево									Суммарная вегетативная биомасса сухая, кг/дерево								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО		НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	0,081	0,094	0,102	0,104	0,109	0,098	± 0,01	Лобо	N ₀	2,015	2,186	2,412	2,549	2,676	2,368	± 0,268
	N ₄₅	0,082	0,099	0,109	0,110	0,115	0,103	± 0,01		N ₄₅	2,016	2,226	2,538	2,695	2,845	2,464	± 0,34
	N ₉₀	0,082	0,103	0,117	0,117	0,123	0,109	± 0,02		N ₉₀	2,081	2,294	2,669	2,846	3,022	2,583	± 0,389
	N ₁₃₅	0,082	0,107	0,118	0,121	0,125	0,110	± 0,02		N ₁₃₅	2,108	2,339	2,804	2,997	3,188	2,687	± 0,452
	N ₁₈₀	0,083	0,110	0,120	0,124	0,126	0,113	± 0,02		N ₁₈₀	2,114	2,378	2,887	3,087	3,285	2,750	± 0,49
	N ₂₂₅	0,083	0,111	0,124	0,123	0,129	0,114	± 0,02		N ₂₂₅	2,094	2,381	2,958	3,156	3,376	2,793	± 0,538
	N ₂₇₀	0,082	0,109	0,125	0,123	0,129	0,113	± 0,02		N ₂₇₀	2,096	2,383	2,942	3,138	3,374	2,787	± 0,532
Хонейкрипс	N ₀	0,081	0,094	0,102	0,107	0,112	0,099	± 0,01	Хонейкрипс	N ₀	2,063	2,335	2,431	2,534	2,677	2,408	± 0,231
	N ₄₅	0,081	0,100	0,110	0,116	0,122	0,106	± 0,02		N ₄₅	2,083	2,364	2,565	2,696	2,840	2,510	± 0,296
	N ₉₀	0,081	0,109	0,120	0,126	0,135	0,114	± 0,02		N ₉₀	2,104	2,394	2,705	2,866	3,013	2,616	± 0,367
	N ₁₃₅	0,081	0,112	0,123	0,130	0,139	0,117	± 0,02		N ₁₃₅	2,127	2,448	2,843	3,023	3,188	2,726	± 0,433
	N ₁₈₀	0,081	0,116	0,126	0,134	0,143	0,120	± 0,02		N ₁₈₀	2,140	2,470	2,930	3,120	3,297	2,791	± 0,477
	N ₂₂₅	0,081	0,117	0,130	0,138	0,142	0,122	± 0,02		N ₂₂₅	2,145	2,501	3,002	3,198	3,378	2,845	± 0,511
	N ₂₇₀	0,083	0,117	0,128	0,137	0,143	0,122	± 0,02		N ₂₇₀	2,144	2,504	2,999	3,202	3,379	2,845	± 0,511
Прирост массы осевых органов									Суммарная вегетативная биомасса сухая, кг/га								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО		НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	0,675	0,419	0,550	0,355	0,318	0,463	± 0,148	Лобо	N ₀	5036	5466	6029	6373	6690	5919	± 670
	N ₄₅	0,667	0,516	0,777	0,407	0,378	0,549	± 0,17		N ₄₅	5040	5566	6345	6737	7112	6160	± 849
	N ₉₀	0,833	0,506	0,946	0,463	0,445	0,639	± 0,233		N ₉₀	5203	5736	6673	7116	7556	6457	± 972
	N ₁₃₅	0,913	0,541	1,184	0,502	0,487	0,725	± 0,311		N ₁₃₅	5270	5847	7010	7492	7969	6718	± 1130
	N ₁₈₀	0,933	0,609	1,311	0,519	0,510	0,776	± 0,345		N ₁₈₀	5286	5945	7218	7719	8214	6876	± 1226
	N ₂₂₅	0,887	0,665	1,481	0,515	0,569	0,823	± 0,394		N ₂₂₅	5236	5951	7396	7890	8441	6983	± 1345
	N ₂₇₀	0,897	0,667	1,425	0,519	0,604	0,822	± 0,365		N ₂₇₀	5240	5958	7356	7846	8435	6967	± 1330
Хонейкрипс	N ₀	0,779	0,672	0,246	0,254	0,361	0,462	± 0,247	Хонейкрипс	N ₀	5157	5836	6077	6336	6692	6020	± 577
	N ₄₅	0,834	0,674	0,519	0,326	0,361	0,543	± 0,214		N ₄₅	5208	5909	6412	6739	7101	6274	± 740
	N ₉₀	0,891	0,676	0,804	0,406	0,358	0,627	± 0,237		N ₉₀	5260	5986	6763	7166	7531	6541	± 918
	N ₁₃₅	0,953	0,750	1,025	0,454	0,407	0,718	± 0,281		N ₁₃₅	5317	6120	7107	7557	7969	6814	± 1083
	N ₁₈₀	0,987	0,763	1,197	0,480	0,439	0,773	± 0,325		N ₁₈₀	5349	6175	7324	7801	8242	6978	± 1193
	N ₂₂₅	1,001	0,829	1,302	0,493	0,463	0,818	± 0,353		N ₂₂₅	5362	6252	7505	7995	8446	7112	± 1276
	N ₂₇₀	0,995	0,842	1,292	0,508	0,450	0,817	± 0,349		N ₂₇₀	5359	6259	7498	8004	8448	7114	± 1277
Прирост массы вегетативных органов, кг/дер.									Прирост сухой биомассы, кг/дер.								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО		НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	0,967	0,757	0,917	0,730	0,709	0,816	± 0,118	Лобо	N ₀	0,33	0,25	0,32	0,24	0,23	0,28	± 0,05
	N ₄₅	0,961	0,870	1,168	0,804	0,793	0,919	± 0,154		N ₄₅	0,34	0,29	0,41	0,27	0,26	0,31	± 0,06
	N ₉₀	1,129	0,877	1,365	0,885	0,887	1,029	± 0,216		N ₉₀	0,40	0,30	0,48	0,29	0,29	0,35	± 0,08
	N ₁₃₅	1,209	0,924	1,609	0,935	0,935	1,122	± 0,297		N ₁₃₅	0,43	0,31	0,57	0,31	0,31	0,39	± 0,11
	N ₁₈₀	1,230	1,005	1,742	0,963	0,964	1,181	± 0,332		N ₁₈₀	0,43	0,35	0,62	0,32	0,32	0,41	± 0,13
	N ₂₂₅	1,186	1,064	1,925	0,958	1,031	1,233	± 0,396		N ₂₂₅	0,41	0,37	0,69	0,32	0,34	0,43	± 0,15
	N ₂₇₀	1,190	1,057	1,873	0,960	1,066	1,229	± 0,369		N ₂₇₀	0,42	0,37	0,67	0,32	0,36	0,43	± 0,14
Хонейкрипс	N ₀	1,071	1,008	0,613	0,640	0,763	0,819	± 0,21	Хонейкрипс	N ₀	0,38	0,35	0,19	0,21	0,25	0,28	± 0,09
	N ₄₅	1,125	1,035	0,915	0,743	0,801	0,924	± 0,159		N ₄₅	0,40	0,36	0,30	0,24	0,26	0,31	± 0,07
	N ₉₀	1,182	1,067	1,235	0,859	0,844	1,037	± 0,18		N ₉₀	0,42	0,37	0,42	0,28	0,27	0,35	± 0,07
	N ₁₃₅	1,243	1,153	1,467	0,921	0,907	1,138	± 0,234		N ₁₃₅	0,45	0,40	0,51	0,30	0,29	0,39	± 0,09
	N ₁₈₀	1,277	1,179	1,651	0,962	0,954	1,205	± 0,286		N ₁₈₀	0,46	0,41	0,58	0,32	0,31	0,41	± 0,11
	N ₂₂₅	1,293	1,250	1,769	0,988	0,974	1,255	± 0,323		N ₂₂₅	0,46	0,44	0,62	0,33	0,32	0,43	± 0,12
	N ₂₇₀	1,292	1,263	1,752	1,000	0,963	1,254	± 0,316		N ₂₇₀	0,46	0,44	0,61	0,33	0,31	0,43	± 0,12

Экспериментальные данные (3/6)

Количество плодов, шт/дерево								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	75	65	46	131	60	75	± 33
	N ₄₅	74	65	48	134	63	77	± 33
	N ₉₀	77	68	50	143	69	81	± 36
	N ₁₃₅	75	69	54	144	71	83	± 35
	N ₁₈₀	76	71	57	146	73	85	± 35
	N ₂₂₅	79	72	60	151	75	87	± 36
	N ₂₇₀	78	72	60	151	75	87	± 36
Хонейкрисп	N ₀	51	83	89	125	74	84	± 27
	N ₄₅	51	83	91	128	77	86	± 28
	N ₉₀	53	86	96	136	84	91	± 30
	N ₁₃₅	52	87	97	144	86	93	± 33
	N ₁₈₀	54	90	101	149	88	96	± 34
	N ₂₂₅	55	91	103	153	91	99	± 35
	N ₂₇₀	55	93	103	156	91	100	± 36

Средняя масса плодов, г								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	147	114	134	143	136	135	± 12,6
	N ₄₅	146	117	139	148	140	138	± 12,4
	N ₉₀	147	120	145	152	146	142	± 12,4
	N ₁₃₅	150	121	146	155	147	144	± 13,3
	N ₁₈₀	148	123	149	156	149	145	± 12,6
	N ₂₂₅	150	125	152	158	150	147	± 12,9
	N ₂₇₀	149	125	154	159	153	148	± 13,4
Хонейкрисп	N ₀	132	116	113	114	109	117	± 8,7
	N ₄₅	133	112	118	117	120	120	± 7,8
	N ₉₀	134	117	123	121	122	123	± 6,4
	N ₁₃₅	132	118	125	137	126	128	± 7,3
	N ₁₈₀	134	121	127	143	128	130	± 8
	N ₂₂₅	135	121	128	146	131	132	± 9,3
	N ₂₇₀	133	123	128	148	132	133	± 9,3

Продуктивность, кг/дерево								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	11,03	7,44	6,17	18,77	8,14	10,31	± 5,1
	N ₄₅	10,80	7,60	6,67	19,82	8,81	10,74	± 5,3
	N ₉₀	11,34	8,18	7,23	21,69	10,06	11,70	± 5,8
	N ₁₃₅	11,21	8,33	7,89	22,32	10,41	12,03	± 5,9
	N ₁₈₀	11,23	8,75	8,48	22,79	10,90	12,43	± 5,9
	N ₂₂₅	11,86	8,96	9,09	23,83	11,25	13,00	± 6,2
	N ₂₇₀	11,65	8,99	9,23	24,05	11,45	13,07	± 6,3
Хонейкрисп	N ₀	6,71	9,63	10,07	14,30	8,07	9,75	± 2,9
	N ₄₅	6,78	9,31	10,72	14,95	9,22	10,20	± 3
	N ₉₀	7,10	10,03	11,85	16,46	10,25	11,14	± 3,4
	N ₁₃₅	6,88	10,26	12,12	19,71	10,86	11,97	± 4,7
	N ₁₈₀	7,21	10,93	12,78	21,23	11,26	12,68	± 5,2
	N ₂₂₅	7,42	10,98	13,18	22,32	11,88	13,16	± 5,6
	N ₂₇₀	7,32	11,44	13,21	23,07	12,01	13,41	± 5,8

Урожайность, т/га								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	27,56	18,59	15,42	46,93	20,34	25,77	± 12,6
	N ₄₅	27,01	19,00	16,67	49,55	22,03	26,85	± 13,3
	N ₉₀	28,36	20,45	18,08	54,23	25,15	29,25	± 14,5
	N ₁₃₅	28,03	20,82	19,74	55,80	26,02	30,08	± 14,8
	N ₁₈₀	28,08	21,87	21,20	56,98	27,25	31,08	± 14,8
	N ₂₂₅	29,64	22,41	22,73	59,57	28,13	32,49	± 15,5
	N ₂₇₀	29,11	22,46	23,09	60,14	28,61	32,68	± 15,6
Хонейкрисп	N ₀	16,78	24,07	25,16	35,75	20,17	24,39	± 7,2
	N ₄₅	16,96	23,28	26,80	37,38	23,06	25,50	± 7,5
	N ₉₀	17,76	25,07	29,62	41,14	25,62	27,84	± 8,6
	N ₁₃₅	17,20	25,64	30,29	49,28	27,15	29,91	± 11,9
	N ₁₈₀	18,04	27,32	31,94	53,08	28,14	31,70	± 13
	N ₂₂₅	18,55	27,46	32,96	55,81	29,69	32,89	± 13,9
	N ₂₇₀	18,29	28,60	33,04	57,68	30,03	33,53	± 14,6

Удельная продуктивность к сечению штамба, кг/см ²								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	0,706	0,394	0,285	0,779	0,305	0,494	± 0,232
	N ₄₅	0,692	0,402	0,292	0,770	0,302	0,492	± 0,224
	N ₉₀	0,726	0,432	0,299	0,788	0,315	0,512	± 0,231
	N ₁₃₅	0,714	0,439	0,319	0,790	0,325	0,517	± 0,221
	N ₁₈₀	0,713	0,460	0,335	0,785	0,339	0,526	± 0,211
	N ₂₂₅	0,756	0,470	0,354	0,840	0,344	0,553	± 0,231
	N ₂₇₀	0,739	0,469	0,366	0,845	0,351	0,554	± 0,225
Хонейкрисп	N ₀	0,413	0,504	0,460	0,600	0,302	0,456	± 0,11
	N ₄₅	0,416	0,486	0,460	0,581	0,324	0,453	± 0,094
	N ₉₀	0,435	0,521	0,476	0,592	0,337	0,472	± 0,095
	N ₁₃₅	0,419	0,532	0,475	0,692	0,348	0,493	± 0,13
	N ₁₈₀	0,438	0,565	0,489	0,727	0,351	0,514	± 0,142
	N ₂₂₅	0,456	0,566	0,501	0,756	0,367	0,529	± 0,146
	N ₂₇₀	0,448	0,590	0,500	0,784	0,371	0,539	± 0,159

Удельная продуктивность к площади листьев, кг/м ²								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	2,41	1,67	1,35	4,20	1,79	2,28	± 1,14
	N ₄₅	2,39	1,60	1,40	4,21	1,84	2,29	± 1,13
	N ₉₀	2,50	1,63	1,43	4,27	1,98	2,36	± 1,14
	N ₁₃₅	2,47	1,62	1,51	4,29	2,02	2,38	± 1,13
	N ₁₈₀	2,47	1,65	1,57	4,27	2,07	2,41	± 1,1
	N ₂₂₅	2,59	1,65	1,67	4,39	2,10	2,48	± 1,14
	N ₂₇₀	2,55	1,64	1,69	4,43	2,13	2,49	± 1,15
Хонейкрисп	N ₀	1,36	2,03	2,07	3,01	1,66	2,02	± 0,62
	N ₄₅	1,38	1,80	2,05	2,86	1,75	1,97	± 0,55
	N ₉₀	1,45	1,78	2,08	2,89	1,78	2,00	± 0,55
	N ₁₃₅	1,40	1,78	2,07	3,36	1,83	2,09	± 0,75
	N ₁₈₀	1,47	1,84	2,12	3,50	1,84	2,15	± 0,79
	N ₂₂₅	1,51	1,81	2,13	3,63	1,91	2,20	± 0,83
	N ₂₇₀	1,49	1,88	2,15	3,76	1,93	2,24	± 0,88

Прирост биомассы суммарный, кг/дер								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	11,99	8,19	7,09	19,50	8,85	11,12	± 5,026
	N ₄₅	11,77	8,47	7,83	20,62	9,61	11,66	± 5,229
	N ₉₀	12,47	9,06	8,59	22,58	10,95	12,73	± 5,719
	N ₁₃₅	12,42	9,25	9,50	23,26	11,34	13,16	± 5,796
	N ₁₈₀	12,46	9,75	10,22	23,75	11,86	13,61	± 5,78
	N ₂₂₅	13,04	10,03	11,02	24,79	12,28	14,23	± 6,013
	N ₂₇₀	12,84	10,04	11,11	25,01	12,51	14,30	± 6,092
Хонейкрисп	N ₀	7,78	10,64	10,68	14,94	8,83	10,57	± 2,735
	N ₄₅	7,91	10,35	11,64	15,69	10,03	11,12	± 2,885
	N ₉₀	8,28	11,09	13,08	17,32	11,09	12,17	± 3,344
	N ₁₃₅	8,12	11,41	13,58	20,63	11,77	13,10	± 4,648
	N ₁₈₀	8,49	12,11	14,43	22,19	12,21	13,89	± 5,109
	N ₂₂₅	8,71	12,23	14,95	23,31	12,85	14,41	± 5,458
	N ₂₇₀	8,61	12,70	14,97	24,07	12,98	14,66	± 5,744

Удельный прирост биомассы к сечению штамба								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	0,768	0,434	0,327	0,809	0,331	0,534	± 0,24
	N ₄₅	0,753	0,448	0,343	0,801	0,329	0,535	± 0,23
	N ₉₀	0,798	0,478	0,355	0,820	0,342	0,559	± 0,23
	N ₁₃₅	0,792	0,488	0,384	0,823	0,354	0,568	± 0,22
	N ₁₈₀	0,791	0,513	0,403	0,818	0,369	0,579	± 0,21
	N ₂₂₅	0,831	0,525	0,429	0,874	0,376	0,607	± 0,23
	N ₂₇₀	0,814	0,524	0,440	0,879	0,384	0,608	± 0,22
Хонейкрисп	N ₀	0,479	0,557	0,488	0,627	0,331	0,496	± 0,11
	N ₄₅	0,485	0,540	0,499	0,610	0,352	0,497	± 0,09
	N ₉₀	0,507	0,576	0,525	0,623	0,365	0,519	± 0,1
	N ₁₃₅	0,495	0,592	0,532	0,724	0,377	0,544	± 0,13
	N ₁₈₀	0,515	0,627	0,552	0,759	0,381	0,567	± 0,14
	N ₂₂₅	0,536	0,631	0,568	0,790	0,397	0,584	± 0,14
	N ₂₇₀	0,527	0,655	0,566	0,818	0,401	0,593	± 0,16

Экспериментальные данные (4/6)

Содержание азота в листьях, % сухой массы								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	2,236	2,400	2,654	2,019	2,521	2,366	± 0,248
	N ₄₅	2,271	2,442	2,681	2,049	2,538	2,396	± 0,245
	N ₉₀	2,300	2,496	2,713	2,093	2,566	2,433	± 0,242
	N ₁₃₅	2,306	2,529	2,766	2,115	2,610	2,465	± 0,257
	N ₁₈₀	2,324	2,542	2,804	2,133	2,614	2,483	± 0,261
	N ₂₂₅	2,310	2,620	2,814	2,185	2,688	2,523	± 0,265
	N ₂₇₀	2,335	2,623	2,829	2,203	2,707	2,539	± 0,262
Хонейкрипс	N ₀	2,360	2,376	2,615	2,118	2,551	2,404	± 0,194
	N ₄₅	2,380	2,468	2,674	2,205	2,631	2,471	± 0,191
	N ₉₀	2,460	2,583	2,756	2,318	2,724	2,568	± 0,183
	N ₁₃₅	2,536	2,598	2,759	2,331	2,752	2,595	± 0,177
	N ₁₈₀	2,557	2,620	2,772	2,348	2,785	2,616	± 0,179
	N ₂₂₅	2,556	2,657	2,816	2,379	2,807	2,643	± 0,183
	N ₂₇₀	2,571	2,677	2,830	2,394	2,825	2,659	± 0,184

Содержание калия в листьях, % сухой массы								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	1,277	1,374	1,666	1,059	1,825	1,440	± 0,307
	N ₄₅	1,293	1,370	1,666	1,051	1,822	1,440	± 0,306
	N ₉₀	1,304	1,367	1,665	1,047	1,819	1,440	± 0,305
	N ₁₃₅	1,312	1,378	1,670	1,053	1,831	1,449	± 0,306
	N ₁₈₀	1,328	1,387	1,671	1,060	1,840	1,457	± 0,305
	N ₂₂₅	1,309	1,361	1,649	1,052	1,829	1,440	± 0,304
	N ₂₇₀	1,318	1,378	1,669	1,058	1,817	1,448	± 0,3
Хонейкрипс	N ₀	1,469	1,289	1,676	1,012	1,725	1,434	± 0,293
	N ₄₅	1,466	1,294	1,668	1,014	1,724	1,433	± 0,29
	N ₉₀	1,464	1,299	1,662	1,015	1,720	1,432	± 0,287
	N ₁₃₅	1,475	1,300	1,671	1,018	1,723	1,437	± 0,288
	N ₁₈₀	1,488	1,298	1,681	1,022	1,726	1,443	± 0,29
	N ₂₂₅	1,495	1,310	1,661	1,028	1,740	1,447	± 0,286
	N ₂₇₀	1,483	1,319	1,677	1,014	1,731	1,445	± 0,291

Содержание азота в стеблях, % сухой массы								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	0,455	0,444	0,432	0,430	0,429	0,438	± 0,011
	N ₄₅	0,448	0,443	0,438	0,432	0,435	0,439	± 0,006
	N ₉₀	0,444	0,446	0,448	0,437	0,441	0,443	± 0,005
	N ₁₃₅	0,447	0,453	0,450	0,446	0,450	0,449	± 0,003
	N ₁₈₀	0,450	0,460	0,451	0,456	0,459	0,455	± 0,005
	N ₂₂₅	0,451	0,481	0,466	0,462	0,464	0,465	± 0,011
	N ₂₇₀	0,445	0,471	0,467	0,462	0,475	0,464	± 0,012
Хонейкрипс	N ₀	0,415	0,395	0,396	0,381	0,381	0,394	± 0,014
	N ₄₅	0,414	0,398	0,395	0,388	0,394	0,398	± 0,01
	N ₉₀	0,415	0,410	0,401	0,403	0,415	0,409	± 0,007
	N ₁₃₅	0,414	0,413	0,412	0,414	0,425	0,415	± 0,005
	N ₁₈₀	0,413	0,417	0,421	0,425	0,434	0,422	± 0,008
	N ₂₂₅	0,418	0,436	0,438	0,446	0,457	0,439	± 0,014
	N ₂₇₀	0,419	0,438	0,438	0,443	0,456	0,439	± 0,013

Содержание калия в стеблях, % сухой массы								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	0,278	0,289	0,291	0,284	0,281	0,285	± 0,005
	N ₄₅	0,282	0,290	0,290	0,284	0,285	0,286	± 0,004
	N ₉₀	0,277	0,291	0,289	0,283	0,289	0,286	± 0,006
	N ₁₃₅	0,278	0,290	0,284	0,288	0,294	0,287	± 0,006
	N ₁₈₀	0,287	0,290	0,279	0,294	0,299	0,290	± 0,008
	N ₂₂₅	0,283	0,289	0,290	0,287	0,300	0,290	± 0,006
	N ₂₇₀	0,280	0,281	0,291	0,289	0,300	0,288	± 0,008
Хонейкрипс	N ₀	0,250	0,261	0,259	0,261	0,271	0,260	± 0,007
	N ₄₅	0,255	0,265	0,259	0,261	0,270	0,262	± 0,006
	N ₉₀	0,260	0,269	0,259	0,261	0,270	0,264	± 0,005
	N ₁₃₅	0,265	0,270	0,259	0,260	0,270	0,265	± 0,005
	N ₁₈₀	0,270	0,271	0,260	0,259	0,271	0,266	± 0,006
	N ₂₂₅	0,269	0,279	0,259	0,261	0,280	0,270	± 0,01
	N ₂₇₀	0,261	0,270	0,259	0,260	0,269	0,264	± 0,005

Содержание азота в корнях, % сухой массы								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	1,149	1,122	1,133	1,120	1,125	1,130	± 0,012
	N ₄₅	1,156	1,136	1,162	1,152	1,157	1,153	± 0,01
	N ₉₀	1,171	1,162	1,200	1,190	1,191	1,183	± 0,016
	N ₁₃₅	1,168	1,172	1,209	1,207	1,217	1,194	± 0,023
	N ₁₈₀	1,167	1,184	1,219	1,222	1,240	1,206	± 0,03
	N ₂₂₅	1,164	1,223	1,255	1,265	1,266	1,234	± 0,043
	N ₂₇₀	1,173	1,249	1,273	1,276	1,281	1,251	± 0,045
Хонейкрипс	N ₀	1,078	1,037	1,069	1,064	1,053	1,060	± 0,016
	N ₄₅	1,087	1,049	1,082	1,079	1,082	1,076	± 0,015
	N ₉₀	1,102	1,078	1,106	1,104	1,118	1,102	± 0,015
	N ₁₃₅	1,097	1,095	1,120	1,125	1,144	1,116	± 0,021
	N ₁₈₀	1,092	1,115	1,133	1,145	1,170	1,131	± 0,03
	N ₂₂₅	1,094	1,152	1,181	1,177	1,210	1,163	± 0,043
	N ₂₇₀	1,090	1,159	1,188	1,188	1,231	1,171	± 0,052

Содержание калия в корнях, % сухой массы								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	0,366	0,369	0,368	0,359	0,369	0,366	± 0,004
	N ₄₅	0,371	0,372	0,372	0,365	0,362	0,368	± 0,005
	N ₉₀	0,376	0,376	0,376	0,370	0,355	0,371	± 0,009
	N ₁₃₅	0,376	0,378	0,377	0,368	0,361	0,372	± 0,007
	N ₁₈₀	0,376	0,380	0,378	0,367	0,367	0,374	± 0,006
	N ₂₂₅	0,368	0,355	0,376	0,366	0,366	0,366	± 0,007
	N ₂₇₀	0,375	0,365	0,376	0,367	0,357	0,368	± 0,008
Хонейкрипс	N ₀	0,329	0,348	0,345	0,348	0,354	0,345	± 0,009
	N ₄₅	0,329	0,349	0,346	0,353	0,350	0,345	± 0,01
	N ₉₀	0,328	0,349	0,347	0,358	0,346	0,346	± 0,011
	N ₁₃₅	0,332	0,343	0,351	0,357	0,347	0,346	± 0,009
	N ₁₈₀	0,335	0,336	0,355	0,356	0,349	0,346	± 0,01
	N ₂₂₅	0,334	0,343	0,347	0,358	0,353	0,347	± 0,009
	N ₂₇₀	0,335	0,333	0,337	0,357	0,351	0,343	± 0,011

Содержание азота в плодах, % сухой массы								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	0,867	0,815	0,765	0,694	0,742	0,777	± 0,067
	N ₄₅	0,862	0,825	0,784	0,716	0,769	0,791	± 0,056
	N ₉₀	0,872	0,851	0,816	0,749	0,805	0,819	± 0,047
	N ₁₃₅	0,862	0,877	0,837	0,774	0,834	0,837	± 0,04
	N ₁₈₀	0,852	0,902	0,855	0,795	0,858	0,852	± 0,038
	N ₂₂₅	0,880	0,931	0,904	0,832	0,895	0,888	± 0,037
	N ₂₇₀	0,861	0,940	0,911	0,847	0,912	0,894	± 0,039
Хонейкрипс	N ₀	0,698	0,686	0,742	0,672	0,688	0,697	± 0,027
	N ₄₅	0,680	0,689	0,752	0,684	0,704	0,702	± 0,029
	N ₉₀	0,694	0,698	0,766	0,698	0,721	0,715	± 0,03
	N ₁₃₅	0,696	0,706	0,775	0,713	0,738	0,726	± 0,032
	N ₁₈₀	0,697	0,716	0,785	0,729	0,756	0,736	± 0,034
	N ₂₂₅	0,719	0,736	0,803	0,748	0,778	0,757	± 0,034
	N ₂₇₀	0,711	0,751	0,814	0,752	0,787	0,763	± 0,039

Содержание калия в плодах, % сухой массы								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	1,342	1,350	1,234	1,338	1,303	1,313	± 0,048
	N ₄₅	1,337	1,343	1,233	1,338	1,304	1,311	± 0,046
	N ₉₀	1,332	1,336	1,232	1,338	1,304	1,308	± 0,045
	N ₁₃₅	1,331	1,326	1,221	1,321	1,302	1,300	± 0,046
	N ₁₈₀	1,330	1,316	1,209	1,304	1,300	1,292	± 0,048
	N ₂₂₅	1,302	1,304	1,200	1,300	1,288	1,279	± 0,044
	N ₂₇₀	1,279	1,288	1,182	1,274	1,276	1,260	± 0,044
Хонейкрипс	N ₀	1,361	1,296	1,221	1,403	1,378	1,332	± 0,074
	N ₄₅	1,360	1,291	1,212	1,392	1,378	1,327	± 0,075
	N ₉₀	1,359	1,286	1,204	1,381	1,378	1,322	± 0,076
	N ₁₃₅	1,354	1,281	1,201	1,381	1,367	1,317	± 0,075
	N ₁₈₀	1,349	1,276	1,198	1,380	1,357	1,312	± 0,075
	N ₂₂₅	1,340	1,260	1,198	1,364	1,356	1,304	± 0,072
	N ₂₇₀	1,344	1,254	1,194	1,364	1,353	1,302	± 0,07

Экспериментальные данные (5/6)

Вынос азота листьями, кг/га								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	4,54	5,64	6,78	5,27	6,86	5,82	± 1
	N ₄₅	4,64	6,01	7,29	5,66	7,33	6,19	± 1,14
	N ₉₀	4,74	6,44	7,91	6,15	7,89	6,62	± 1,33
	N ₁₃₅	4,75	6,74	8,18	6,37	8,13	6,83	± 1,42
	N ₁₈₀	4,80	7,00	8,41	6,59	8,26	7,01	± 1,46
	N ₂₂₅	4,81	7,27	8,69	6,73	8,64	7,23	± 1,6
Хoneyкрипс	N ₂₇₀	4,76	7,12	8,82	6,76	8,70	7,23	± 1,66
	N ₀	4,79	5,55	6,68	5,69	7,13	5,97	± 0,93
	N ₄₅	4,82	6,20	7,37	6,40	8,05	6,57	± 1,23
	N ₉₀	4,98	7,03	8,26	7,31	9,21	7,36	± 1,58
	N ₁₃₅	5,12	7,28	8,48	7,57	9,58	7,61	± 1,65
	N ₁₈₀	5,16	7,58	8,76	7,87	9,98	7,87	± 1,78
	N ₂₂₅	5,19	7,78	9,15	8,19	9,98	8,06	± 1,82
	N ₂₇₀	5,31	7,84	9,06	8,19	10,08	8,10	± 1,78

Вынос калия листьями, кг/га								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	2,59	3,23	4,25	2,76	4,97	3,56	± 1,02
	N ₄₅	2,64	3,37	4,53	2,90	5,26	3,74	± 1,11
	N ₉₀	2,69	3,53	4,85	3,07	5,59	3,95	± 1,23
	N ₁₃₅	2,70	3,67	4,94	3,17	5,71	4,04	± 1,25
	N ₁₈₀	2,74	3,82	5,01	3,27	5,81	4,13	± 1,26
	N ₂₂₅	2,72	3,78	5,09	3,24	5,88	4,14	± 1,31
Хoneyкрипс	N ₂₇₀	2,69	3,74	5,20	3,25	5,84	4,14	± 1,33
	N ₀	2,98	3,01	4,28	2,72	4,83	3,56	± 0,93
	N ₄₅	2,97	3,25	4,60	2,94	5,28	3,81	± 1,07
	N ₉₀	2,96	3,53	4,98	3,20	5,82	4,10	± 1,24
	N ₁₃₅	2,98	3,65	5,14	3,31	5,99	4,21	± 1,29
	N ₁₈₀	3,00	3,76	5,31	3,43	6,18	4,34	± 1,35
	N ₂₂₅	3,04	3,84	5,40	3,54	6,19	4,40	± 1,33
	N ₂₇₀	3,06	3,86	5,37	3,47	6,18	4,39	± 1,33

Вынос азота стеблями, кг/га								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	1,60	0,73	1,40	0,83	0,85	1,08	± 0,39
	N ₄₅	1,76	1,04	2,16	0,81	1,11	1,38	± 0,56
	N ₉₀	2,26	1,35	2,65	0,72	1,40	1,68	± 0,77
	N ₁₃₅	2,29	1,65	3,16	1,13	1,54	1,96	± 0,79
	N ₁₈₀	2,27	2,20	3,16	1,56	1,61	2,16	± 0,65
	N ₂₂₅	2,00	3,12	3,57	1,33	1,59	2,32	± 0,98
Хoneyкрипс	N ₂₇₀	1,98	3,00	3,77	1,22	2,33	2,46	± 0,97
	N ₀	2,15	1,09	0,33	0,08	0,83	0,90	± 0,81
	N ₄₅	2,25	1,26	0,83	0,51	1,12	1,19	± 0,66
	N ₉₀	2,36	1,70	1,28	1,02	1,45	1,56	± 0,51
	N ₁₃₅	2,48	2,00	2,13	1,20	1,55	1,87	± 0,5
	N ₁₈₀	2,54	2,23	2,78	1,42	1,53	2,10	± 0,6
	N ₂₂₅	2,58	2,95	3,07	1,65	1,79	2,41	± 0,66
	N ₂₇₀	2,56	3,04	2,98	1,53	1,86	2,39	± 0,67

Вынос калия стеблями, кг/га								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	0,98	1,03	1,27	0,35	0,45	0,82	± 0,4
	N ₄₅	1,11	1,03	1,52	0,46	0,71	0,97	± 0,41
	N ₉₀	1,41	1,30	1,58	0,53	1,05	1,17	± 0,41
	N ₁₃₅	1,42	1,33	1,85	1,01	1,15	1,35	± 0,32
	N ₁₈₀	1,45	1,28	1,77	1,52	1,17	1,44	± 0,23
	N ₂₂₅	1,25	1,50	2,61	0,79	1,58	1,55	± 0,67
Хoneyкрипс	N ₂₇₀	1,24	1,33	2,82	0,80	1,59	1,56	± 0,76
	N ₀	1,29	1,49	0,12	0,51	0,98	0,88	± 0,56
	N ₄₅	1,38	1,51	0,38	0,61	0,96	0,97	± 0,49
	N ₉₀	1,48	1,53	0,66	0,71	0,99	1,07	± 0,41
	N ₁₃₅	1,59	1,49	0,95	0,74	1,12	1,18	± 0,36
	N ₁₈₀	1,66	1,40	1,20	0,70	1,27	1,24	± 0,35
	N ₂₂₅	1,66	1,84	0,98	0,86	1,67	1,40	± 0,45
	N ₂₇₀	1,59	1,79	1,32	0,83	1,15	1,34	± 0,37

Вынос азота корнями, кг/га								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	1,28	1,27	1,68	1,14	1,27	1,33	± 0,2
	N ₄₅	1,08	2,09	3,17	1,46	1,59	1,88	± 0,81
	N ₉₀	1,28	2,03	4,76	1,75	1,84	2,33	± 1,38
	N ₁₃₅	1,57	2,31	5,68	2,19	2,31	2,81	± 1,63
	N ₁₈₀	1,68	2,49	6,48	2,49	2,68	3,17	± 1,89
	N ₂₂₅	1,74	3,48	7,28	2,43	2,84	3,55	± 2,18
Хoneyкрипс	N ₂₇₀	1,75	3,78	7,05	2,45	2,96	3,60	± 2,07
	N ₀	0,98	1,47	2,18	0,72	1,09	1,29	± 0,57
	N ₄₅	1,09	1,47	3,32	1,12	1,43	1,69	± 0,93
	N ₉₀	1,20	1,68	4,46	1,57	1,70	2,12	± 1,32
	N ₁₃₅	1,31	2,53	5,33	1,97	2,16	2,66	± 1,56
	N ₁₈₀	1,37	3,02	6,06	2,27	2,55	3,05	± 1,78
	N ₂₂₅	1,43	4,04	7,04	1,96	3,02	3,50	± 2,22
	N ₂₇₀	1,43	4,30	7,04	2,16	3,22	3,63	± 2,19

Вынос калия корнями, кг/га								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	0,78	0,63	0,45	0,26	0,61	0,55	± 0,2
	N ₄₅	0,68	0,82	0,85	0,38	0,39	0,62	± 0,23
	N ₉₀	0,80	0,71	1,25	0,48	0,16	0,68	± 0,4
	N ₁₃₅	0,98	0,75	1,51	0,46	0,42	0,83	± 0,45
	N ₁₈₀	1,07	0,77	1,75	0,44	0,65	0,94	± 0,51
	N ₂₂₅	1,09	0,44	2,42	0,37	0,81	1,02	± 0,83
Хoneyкрипс	N ₂₇₀	1,10	0,49	2,16	0,45	0,50	0,94	± 0,73
	N ₀	0,59	1,07	0,44	0,34	0,58	0,60	± 0,28
	N ₄₅	0,67	1,07	0,80	0,55	0,37	0,69	± 0,26
	N ₉₀	0,75	1,07	1,18	0,78	0,12	0,78	± 0,41
	N ₁₃₅	0,84	1,00	1,68	0,73	0,23	0,90	± 0,52
	N ₁₈₀	0,90	0,80	2,18	0,64	0,36	0,97	± 0,7
	N ₂₂₅	0,92	1,05	1,97	0,92	0,46	1,07	± 0,56
	N ₂₇₀	0,89	0,83	1,90	1,18	0,40	1,04	± 0,56

Вынос азота вегетативными органами, кг/га								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	7,43	7,65	9,85	7,24	8,98	8,23	± 1,14
	N ₄₅	7,49	9,15	12,62	7,93	10,03	9,44	± 2,04
	N ₉₀	8,27	9,83	15,32	8,61	11,13	10,63	± 2,85
	N ₁₃₅	8,61	10,70	17,03	9,69	11,99	11,60	± 3,28
	N ₁₈₀	8,76	11,69	18,05	10,63	12,55	12,34	± 3,49
	N ₂₂₅	8,54	13,88	19,53	10,49	13,07	13,10	± 4,17
Хoneyкрипс	N ₂₇₀	8,48	13,90	19,63	10,42	13,99	13,29	± 4,26
	N ₀	7,92	8,12	9,19	6,48	9,05	8,15	± 1,09
	N ₄₅	8,15	8,93	11,52	8,03	10,60	9,45	± 1,55
	N ₉₀	8,54	10,41	14,00	9,90	12,36	11,04	± 2,15
	N ₁₃₅	8,90	11,81	15,95	10,74	13,29	12,14	± 2,66
	N ₁₈₀	9,07	12,83	17,59	11,57	14,06	13,02	± 3,15
	N ₂₂₅	9,20	14,78	19,26	11,79	14,79	13,96	± 3,77
	N ₂₇₀	9,30	15,18	19,07	11,88	15,17	14,12	± 3,71

Вынос калия вегетативными органами, кг/га								
	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	4,35	4,89	5,98	3,37	6,02	4,92	± 1,12
	N ₄₅	4,44	5,22	6,90	3,74	6,36	5,33	± 1,31
	N ₉₀	4,89	5,53	7,68	4,08	6,81	5,80	± 1,45
	N ₁₃₅	5,10	5,76	8,30	4,64	7,28	6,22	± 1,53
	N ₁₈₀	5,27	5,87	8,53	5,24	7,62	6,50	± 1,49
	N ₂₂₅	5,07	5,71	10,12	4,40	8,26	6,71	± 2,4
Хoneyкрипс	N ₂₇₀	5,03	5,56	10,18	4,50	7,93	6,64	± 2,37
	N ₀	4,87	5,57	4,84	3,56	6,38	5,05	± 1,04
	N ₄₅	5,02	5,83	5,77	4,09	6,61	5,46	± 0,95
	N ₉₀	5,19	6,13	6,83	4,69	6,93	5,95	± 0,99
	N ₁₃₅	5,40	6,14	7,77	4,78	7,34	6,29	± 1,26
	N ₁₈₀	5,56	5,96	8,68	4,76	7,81	6,55	± 1,63
	N ₂₂₅	5,62	6,73	8,35	5,32	8,32	6,87	± 1,44
	N ₂₇₀	5,55	6,48	8,59	5,48	7,73	6,77	± 1,36

Экспериментальные данные (6/6)

Биомасса плодов сухая, кг/дерево

	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	1,157	0,759	0,663	2,030	0,924	1,107	± 0,549
	N ₄₅	1,134	0,780	0,711	2,117	0,987	1,146	± 0,568
	N ₉₀	1,172	0,819	0,795	2,222	1,082	1,218	± 0,584
	N ₁₃₅	1,172	0,826	0,800	2,221	1,082	1,220	± 0,582
	N ₁₈₀	1,157	0,872	0,841	2,250	1,127	1,249	± 0,577
	N ₂₂₅	1,203	0,853	0,898	2,312	1,142	1,281	± 0,595
	N ₂₇₀	1,180	0,879	0,895	2,311	1,142	1,281	± 0,592
Хонейкрип	N ₀	0,726	1,054	1,116	2,253	1,023	1,235	± 0,589
	N ₄₅	0,726	1,072	1,167	2,298	1,074	1,267	± 0,6
	N ₉₀	0,740	1,111	1,241	2,391	1,169	1,330	± 0,624
	N ₁₃₅	0,740	1,111	1,250	2,423	1,169	1,339	± 0,637
	N ₁₈₀	0,745	1,155	1,273	2,486	1,192	1,370	± 0,656
	N ₂₂₅	0,737	1,151	1,309	2,502	1,237	1,387	± 0,661
	N ₂₇₀	0,754	1,177	1,296	2,533	1,233	1,399	± 0,669

Суммарная биомасса дерева сухая, кг/дерево

	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	3,171	2,946	3,074	4,580	3,600	3,474	± 0,665
	N ₄₅	3,150	3,006	3,249	4,812	3,832	3,610	± 0,742
	N ₉₀	3,253	3,114	3,464	5,068	4,104	3,800	± 0,804
	N ₁₃₅	3,280	3,165	3,604	5,218	4,269	3,907	± 0,849
	N ₁₈₀	3,271	3,250	3,728	5,337	4,412	4,000	± 0,884
	N ₂₂₅	3,297	3,233	3,857	5,468	4,518	4,075	± 0,935
	N ₂₇₀	3,276	3,262	3,837	5,449	4,516	4,068	± 0,927
Хонейкрип	N ₀	2,789	3,389	3,547	4,787	3,700	3,642	± 0,727
	N ₄₅	2,809	3,435	3,732	4,994	3,914	3,777	± 0,799
	N ₉₀	2,844	3,505	3,946	5,257	4,182	3,947	± 0,892
	N ₁₃₅	2,867	3,559	4,093	5,446	4,357	4,064	± 0,96
	N ₁₈₀	2,885	3,625	4,203	5,606	4,488	4,161	± 1,014
	N ₂₂₅	2,882	3,652	4,311	5,700	4,615	4,232	± 1,057
	N ₂₇₀	2,897	3,680	4,295	5,735	4,612	4,244	± 1,06

Вынос азота плодами, кг/га

	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	25,1	15,5	12,7	35,2	17,1	21,1	± 9,1
	N ₄₅	24,4	16,1	13,9	37,9	19,0	22,3	± 9,6
	N ₉₀	25,6	17,4	16,2	41,6	21,8	24,5	± 10,2
	N ₁₃₅	25,3	18,1	16,8	43,0	22,5	25,1	± 10,5
	N ₁₈₀	24,6	19,7	18,0	44,7	24,2	26,2	± 10,7
	N ₂₂₅	26,5	19,8	20,3	48,1	25,6	28,0	± 11,6
	N ₂₇₀	25,4	20,7	20,4	48,9	26,0	28,3	± 11,8
Хонейкрип	N ₀	12,7	18,1	20,7	37,8	17,6	21,4	± 9,6
	N ₄₅	12,3	18,5	21,9	39,3	18,9	22,2	± 10,2
	N ₉₀	12,8	19,4	23,7	41,7	21,1	23,7	± 10,8
	N ₁₃₅	12,9	19,6	24,2	43,2	21,6	24,3	± 11,4
	N ₁₈₀	13,0	20,7	25,0	45,3	22,5	25,3	± 12,1
	N ₂₂₅	13,2	21,2	26,3	46,8	24,1	26,3	± 12,5
	N ₂₇₀	13,4	22,1	26,4	47,6	24,2	26,7	± 12,7

Вынос калия плодами, кг/га

	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	38,8	25,6	20,4	67,9	30,1	36,6	± 18,8
	N ₄₅	37,9	26,2	21,9	70,8	32,2	37,8	± 19,4
	N ₉₀	39,0	27,4	24,5	74,3	35,3	40,1	± 20
	N ₁₃₅	39,0	27,4	24,4	73,3	35,2	39,9	± 19,6
	N ₁₈₀	38,5	28,7	25,4	73,3	36,6	40,5	± 19,1
	N ₂₂₅	39,2	27,8	26,9	75,1	36,8	41,2	± 19,7
	N ₂₇₀	37,7	28,3	26,4	73,6	36,4	40,5	± 19,1
Хонейкрип	N ₀	24,7	34,1	34,1	79,0	35,2	41,4	± 21,4
	N ₄₅	24,7	34,6	35,4	80,0	37,0	42,3	± 21,6
	N ₉₀	25,1	35,7	37,3	82,5	40,3	44,2	± 22,2
	N ₁₃₅	25,0	35,6	37,5	83,6	40,0	44,4	± 22,7
	N ₁₈₀	25,1	36,8	38,1	85,8	40,4	45,3	± 23,4
	N ₂₂₅	24,7	36,3	39,2	85,3	41,9	45,5	± 23,2
	N ₂₇₀	25,3	36,9	38,7	86,4	41,7	45,8	± 23,5

Доля азота в вег.пр., г/кг

	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	3,07	4,04	4,30	3,97	5,06	4,09	± 0,72
	N ₄₅	3,12	4,20	4,32	3,95	5,06	4,13	± 0,7
	N ₉₀	2,93	4,48	4,49	3,89	5,02	4,16	± 0,8
	N ₁₃₅	2,85	4,63	4,23	4,15	5,13	4,20	± 0,85
	N ₁₈₀	2,85	4,65	4,15	4,42	5,21	4,25	± 0,88
	N ₂₂₅	2,88	5,22	4,06	4,38	5,07	4,32	± 0,94
	N ₂₇₀	2,85	5,26	4,19	4,34	5,25	4,38	± 0,99
Хонейкрип	N ₀	2,96	3,22	6,00	4,05	4,74	4,19	± 1,23
	N ₄₅	2,90	3,45	5,04	4,32	5,30	4,20	± 1,02
	N ₉₀	2,89	3,90	4,54	4,61	5,86	4,36	± 1,08
	N ₁₃₅	2,86	4,10	4,35	4,66	5,86	4,37	± 1,08
	N ₁₈₀	2,84	4,35	4,26	4,81	5,89	4,43	± 1,1
	N ₂₂₅	2,85	4,73	4,35	4,77	6,07	4,56	± 1,16
	N ₂₇₀	2,88	4,81	4,35	4,75	6,30	4,62	± 1,22

Доля калия в вег.пр., г/кг

	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	1,80	2,59	2,61	1,85	3,40	2,45	± 0,66
	N ₄₅	1,85	2,40	2,37	1,86	3,21	2,34	± 0,56
	N ₉₀	1,73	2,52	2,25	1,85	3,07	2,29	± 0,54
	N ₁₃₅	1,69	2,49	2,06	1,99	3,11	2,27	± 0,55
	N ₁₈₀	1,71	2,34	1,96	2,18	3,16	2,27	± 0,55
	N ₂₂₅	1,71	2,15	2,10	1,84	3,21	2,20	± 0,59
	N ₂₇₀	1,69	2,10	2,17	1,87	2,98	2,16	± 0,49
Хонейкрип	N ₀	1,82	2,21	3,16	2,23	3,35	2,55	± 0,66
	N ₄₅	1,78	2,25	2,52	2,20	3,30	2,41	± 0,56
	N ₉₀	1,76	2,30	2,21	2,18	3,28	2,35	± 0,56
	N ₁₃₅	1,74	2,13	2,12	2,08	3,24	2,26	± 0,57
	N ₁₈₀	1,74	2,02	2,10	1,98	3,28	2,22	± 0,6
	N ₂₂₅	1,74	2,15	1,89	2,15	3,42	2,27	± 0,66
	N ₂₇₀	1,72	2,05	1,96	2,19	3,21	2,23	± 0,58

Доля азота в плодах, г/кг

	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	0,91	0,83	0,82	0,75	0,84	0,83	± 0,06
	N ₄₅	0,90	0,85	0,84	0,76	0,86	0,84	± 0,05
	N ₉₀	0,90	0,85	0,90	0,77	0,87	0,86	± 0,05
	N ₁₃₅	0,90	0,87	0,85	0,77	0,87	0,85	± 0,05
	N ₁₈₀	0,88	0,90	0,85	0,79	0,89	0,86	± 0,05
	N ₂₂₅	0,89	0,89	0,89	0,81	0,91	0,88	± 0,04
	N ₂₇₀	0,87	0,92	0,88	0,81	0,91	0,88	± 0,04
Хонейкрип	N ₀	0,75	0,75	0,82	1,06	0,87	0,85	± 0,13
	N ₄₅	0,73	0,79	0,82	1,05	0,82	0,84	± 0,12
	N ₉₀	0,72	0,77	0,80	1,01	0,82	0,83	± 0,11
	N ₁₃₅	0,75	0,77	0,80	0,88	0,79	0,80	± 0,05
	N ₁₈₀	0,72	0,76	0,78	0,85	0,80	0,78	± 0,05
	N ₂₂₅	0,71	0,77	0,80	0,84	0,81	0,79	± 0,05
	N ₂₇₀	0,73	0,77	0,80	0,83	0,81	0,79	± 0,04

Доля калия в плодах, г/кг

	НП	2020	2021	2022	2023	2024	Ср.	СКО
Лобо	N ₀	1,41	1,38	1,33	1,45	1,48	1,41	± 0,06
	N ₄₅	1,40	1,38	1,31	1,43	1,46	1,40	± 0,06
	N ₉₀	1,38	1,34	1,35	1,37	1,40	1,37	± 0,02
	N ₁₃₅	1,39	1,32	1,24	1,31	1,35	1,32	± 0,06
	N ₁₈₀	1,37	1,31	1,20	1,29	1,34	1,30	± 0,07
	N ₂₂₅	1,32	1,24	1,19	1,26	1,31	1,26	± 0,05
	N ₂₇₀	1,30	1,26	1,15	1,22	1,27	1,24	± 0,06
Хонейкрип	N ₀	1,47	1,42	1,35	2,21	1,75	1,64	± 0,35
	N ₄₅	1,46	1,49	1,32	2,14	1,60	1,60	± 0,32
	N ₉₀	1,42	1,42	1,26	2,01	1,57	1,54	± 0,29
	N ₁₃₅	1,46	1,39	1,24	1,70	1,47	1,45	± 0,17
	N ₁₈₀	1,39	1,35	1,19	1,62	1,44	1,40	± 0,15
	N ₂₂₅	1,33	1,32	1,19	1,53	1,41	1,36	± 0,12
	N ₂₇₀	1,38	1,29	1,17	1,50	1,39	1,35	± 0,12

Средства расчета удобрений

Вид «калькулятора выноса» удобрений в программе, выполненной в среде Microsoft Excel (расчет компенсирующей дозы азотных и калийных удобрений, в кг/аг, д.в.).

Азот в почве, мг/кг:	124	Плотность посадки:	2500	шт./га
Диаметр штамба, мм:	59	Отклонение урожая:		%
Поправка на сорт:	b	$\times X_{\text{ср.}}$	c	
Продукция:	кг/дер.	т/га	Вынос, кг/га	
Урожай	11,76	29,4	Азота	Калия
Прирост	0,85	2,1	24,5	41,2
			9,1	4,9
Всего:	12,61	31,5	33,6	46,1
		С поправкой на потери:	70	76

Поправочные коэффициенты для расчета продукции отдельных сортов в соотношении со средней прогнозируемой величиной

Сорт	Коэффициент "b"	Поправка "c"	Корреляция со средним
Альва	1,0	0	0,948
Беркутовское	0,7	+ 0,6	0,963
Лигол	1,5	– 0,5	0,960
Лобо	1,1	– 0,3	0,986
Спартан	0,8	– 0,1	0,989
Хоней крисп	0,8	+ 0,4	0,960