Государственное бюджетное учреждение Республики Крым
«Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад –
Национальный научный центр»

На правах рукописи

Клименко Ольга Евгеньевна

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ОПТИМИЗАЦИИ САДОВЫХ АГРОЦЕНОЗОВ СТЕПНОГО КРЫМА

03.02.08 – экология

Диссертация
на соискание ученой степени доктора
биологических наук

Научный консультант
доктор сельскохозяйственных наук,
старший научный сотрудник
Плугатарь Юрий Владимирович

Ялта – 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..6

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

РАЗДЕЛ 1. НЕГАТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ В САДОВЫХ АГРОЦЕНОЗАХ И РАЗРАБОТКА ПРИЕМОВ ПОВЫШЕНИЯ ИХ УСТОЙЧИВОСТИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ).....14

1.1. Функционирование садовых агроценозов в условиях техногенеза.....14

1.2. Воздействие кислотных осадков на плодовые растения……...32

1.3. Негативные тенденции в эдафотопе как экологическое следствие длительного орошения степных автоморфных почв и пути их преодоления ……..…….....39

1.4. Повышение фито- и микробного разнообразия для устойчивого развития садового агроценоза…….48

РАЗДЕЛ 2. ОБЪЕКТЫ, МЕТОДЫ И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ..…….....60

2.1. Объекты и методы проведения исследований……60

2.2. Условия проведения исследований…….....78

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

РАЗДЕЛ 3. КИСЛОТНЫЕ ОСАДКИ: МОНИТОРИНГ, РЕАКЦИЯ ПЛОДОВЫХ РАСТЕНИЙ И ОЦЕНКА ИХ УСТОЙЧИВОСТИ 91

3.1. Мониторинг химического состава атмосферных осадков в степном Крыму (на примере Степного отделения НБС – ННЦ)……92

3.1.1. Концентрация ионов в атмосферных осадках…….92

3.1.2. Величина pH атмосферных осадков……...102

3.1.3. Изменение концентраций ионов и величины pH атмосферных осадков в течение года…….....108

3.2. Зависимость величины pH атмосферных осадков от концентрации их основных примесей……...111

3.3. Реакция плодовых растений рода *Prunus* L. на воздействие

кислотных осадков на морфологическом уровне ……..…..122
3.3.1. Повреждение цветков кислотными осадками……...….123
3.3.2. Изменение состояния листового аппарата под действием кислотного дождя..……..…….124
3.3.3. Рост побегов плодовых деревьев в условиях искусственного кислотного дождя ……...132
3.3.4. Влияние кислотных осадков на показатели продуктивности растений и качество плодов ……...138
3.4. Физиолого-биохимические реакции плодовых растений на кислотные осадки и оценка их устойчивости …….……147
3.4.1. Минеральное питание растений *Prunus persica* (L.) Batsch в условиях кислотного стресса……...……..…….148
3.4.2 Изменение субстратов антиоксидантной системы ткани листа *P. persica* под воздействием кислотных осадков и разработка критерия оценки устойчивости растений……..153
3.4.3. Оценка относительной устойчивости сортов *Prunus armeniaca* L. к кислотным осадкам по показателю антиоксидантной активности ткани листа……161
3.4.4. Определение относительной устойчивости сортов *Prunus cerasifera* Ehrh. и *Prunus domestica* L. к кислотным осадкам.....166
РАЗДЕЛ 4. ОЩЕЛАЧИВАНИЕ ПОЧВ КАК ЛИМИТИРУЮЩИЙ ФАКТОР В САДОВЫХ АГРОЦЕНОЗАХ СТЕПНОГО КРЫМА…...…….……172
4.1. Образование токсичных щелочных солей под влиянием орошения и плантажной вспашки в почвах степного Крыма и рациональное размещение плодовых культур……..172
4.2. Воздействие ощелачивания на свойства эдафотопа……182
4.2.1. Изменение содержания солей кальция и величины pH почвы при ощелачивании……183
4.2.2. Влияние ощелачивания на подвижность элементов питания в почве……...189

4.3. Оценка устойчивости сортов *P. cerasifera* к щелочным солям в почвах степного Крыма……195
4.4. Реакция сорто-подвойных комбинаций *Malus domestica* Borkh. на ощелачивание почвы…….200
РАЗДЕЛ 5. УЛУЧШЕНИЕ ПОЧВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ОЩЕЛАЧИВАНИЮ, В САДОВЫХ АГРОЦЕНОЗАХ……..210
5.1. Влияние химической мелиорации на солевой состав почвы……..210
5.2. Изменение состава обменных катионов в почве при мелиорации…….220
5.3. Влияние мелиорации на содержание подвижных форм элементов питания в почве…….....223
5.4. Влияние мелиорации на рост и продуктивность растений *P. persica*.....225
РАЗДЕЛ 6. СЕВООБОРОТ СИДЕРАТОВ КАК СПОСОБ ОПТИМИЗАЦИИ САДОВОГО АГРОЦЕНОЗА... ……230
6.1. Биомасса сидератов и ее минеральный состав…….231
6.2. Влияние сидератов на режим влажности и запасы продуктивной влаги в эдафотопе……..233
6.3. Динамика подвижных форм элементов питания и их запасы в почве садового агроценоза при использовании сидератов……..237
6.4. Воздействие сидератов на агрофизические свойства и гумусовое состояние эдафотопа….....243
6.5. Рост и продуктивность растений *M. domestica* при сидеральной системе содержания междурядий садового агроценоза…….....249
РАЗДЕЛ 7. ОПТИМИЗАЦИЯ АГРОЦЕНОЗА ПЛОДОВОГО ПИТОМНИКА ПРИ АКТИВИЗАЦИИ РАСТИТЕЛЬНО-МИКРОБНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ...…….258
7.1. Воздействие микробных препаратов на рост и состояние плодовых саженцев…….....259
7.1.1. Влияние микробных препаратов на рост и качество саженцев *P. persica* и *Cerasus avium* (L.) Moench …….…….259
7.1.2. Реакция растений *P. armeniaca и P. cerasifera* на инокуляцию

семян микробными препаратами.....268
7.1.3. Обогащение микробного ценоза ризосферы саженцев *P. persica* и *C. avium* перспективными штаммами микроорганизмов.....274
7.2. Мониторинг агрохимических свойств ризосферной почвы плодовых саженцев при использовании микробных препаратов.……..…….....281
7.3. Изменение содержания элементов питания в листьях сеянцев и саженцев растений *Prunus* под действием микробных препаратов..289
ЗАКЛЮЧЕНИЕ……....298
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ……...306
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ……...307
ПРИЛОЖЕНИЯ…….....367
Приложение А.....368
Приложение Б….……..…….374
Приложение В……...…….375
Приложение Г…..……..378
Приложение Д. Акты внедрения…….……...……..380
Приложение Е……385

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований. Садовые агроценозы интенсивного типа отличаются низким уровнем биоразнообразия, высокой техногенной и химической нагрузкой на экотопы, что приводит к деградации почв и загрязнению окружающей среды. Длительное их орошение вызывает ощелачивание, слитизацию и дегумификацию почв. Одним из опасных последствий загрязнения атмосферы является выпадение кислотных осадков, которые отрицательно влияют на состояние и продуктивность садовых агроценозов.

Как альтернатива интенсификации разрабатываются компромиссные системы земледелия, где сочетается применение умеренных доз минеральных удобрений и широкое использование биологических подходов — внесение органических удобрений, посев сидератов, многолетних трав, минимизация обработки почвы, повышение роли севооборотов и др. [Кант, 1988]. Особое внимание уделяется энергосберегающим технологиям, которые позволяют за счет мобилизации внутренних, возобновляемых ресурсов агроэкосистемы минимизировать вложение антропогенной энергии [Жученко, 2008; Хазиахметов, 2002].

Вопросами снижения техногенного воздействия, повышения плодородия почв, подбора адаптированных сортов в садовых агроценозах занимались многие отечественные и зарубежные исследователи, в том числе и в Крыму [Подуфалый, 1959; Неговелов, Вальков, 1986; Кашин, 1995; Иванова, 1996; Бузоверов 1998; Иванов и др., 1998; Козак, 1998; Асадулаев, Юсупов, 2005; Придорогин, 2009; Кондратенко, 2009; Опанасенко, 2009; Попова, 2010; Драгавцева и др., 2013; Чурагулова, 2014; Дорошенко, 2015; Кант, 1988; Rinallo, 1993; Lind, 2003; Sansavini, 2005 и др.]. Наименее изученными остаются вопросы влияния ощелачивания почв и кислотных осадков на плодовые культуры, а также активизация ассоциации гетеротрофов и автотрофов в агробиогеоценозе для усиления питания растений.

Поэтому совершенствование научных основ оптимизации садовых агроценозов в степном Крыму, которые выражаются в адаптации и разработке новых агроэкологических приемов рационального размещения и стабилизации экосистем, повышения их продуктивности без разрушения природной среды являются актуальными для садоводства Крыма и южных регионов России.

Цель исследований. Разработка системы агроэкологических приемов рационального размещения, повышения устойчивости и адаптивности агроэкосистем для оптимизации садовых агроценозов степного Крыма.

З**адачи исследований:**

1. Оценить характер и степень подкисления атмосферных осадков в степном Крыму.

2. Изучить реакцию плодовых культур на воздействие кислотных осадков и разработать объективный критерий оценки устойчивости растений к этому воздействию.

3. Определить масштабы и степень ирригационного ощелачивания почв садовых агроценозов равнинного Крыма, выявить характер воздействия этого фактора на свойства почв и плодовые растения.

4. Установить реально оптимальные и допустимые значения токсичных щелочных солей в почве для *Prunus cerasifera* Ehrh.

5. Разработать способы и приемы улучшения почв, подверженных ощелачиванию, в садовой экосистеме.

6. Исследовать процессы деградации почв садовых экосистем степного Крыма и разработать способ оптимизации агроценоза путем введения севооборота сидератов.

7. Изучить влияние микробных препаратов и активных штаммов фосфатмобилизующих бактерий на доступность элементов питания в почве и трофику плодовых саженцев для производства качественного посадочного материала.

Научная новизна. Впервые проведен мониторинг химического состава атмосферных осадков в степном Крыму вблизи большого массива многолетних

насаждений, выявлены процессы подкисления осадков, вызванные загрязнением различными химическими примесями.

Биоиндикационными исследованиями на морфологическом физиолого-биохимическом уровнях исследована реакция большого ряда сортов рода *Prunus* L. на воздействие кислотных осадков (КО) различного химического состава в интервале pH от 6 до 2. Впервые предложен показатель антиоксидантной активности ткани листа, на основе которого проведена оценка устойчивости плодовых растений к КО.

Показаны современные масштабы и степень ощелачивания почв садов степного Крыма, оценена их пригодность для рационального размещения садовых агроценозов с учетом устойчивости сортов плодовых культур к ощелачиванию, изучено воздействие ощелачивания на доступность элементов питания в почвах.

Впервые установлено реально оптимальное и допустимое содержание гидрокарбонатов натрия и магния в почве для ряда сортов *P. cerasifera*, выявлены наиболее устойчивые из них для размещения на орошаемых почвах степного Крыма.

Впервые разработаны способы нейтрализации возникшей токсической щелочности в орошаемых почвах садов степного Крыма, обеспечивающие эффективное использование садовых агроценозов.

Проведена оценка показателей плодородия почвы при многолетнем содержании междурядий сада под черным паром, выявлены процессы деградации почв, разработана система содержания почвы с использованием севооборота озимых сидератов в экосистеме плодоносящей яблони для улучшения физических, химических, физико-химических свойств эдафотопа и повышения биологической продуктивности агроценоза.

Разработаны приемы повышения плодородия почвы, улучшения питания растений и качества посадочного материала в агроценозе плодового питомника путем подбора наиболее эффективного взаимодействия плодовых растений и активных штаммов микроорганизмов.

Теоретическая и практическая значимость. Теоретическая значимость исследований состоит в оценке ряда неблагоприятных антропогенных факторов, разработке критериев и определении устойчивости генотипов плодовых растений к воздействию этих факторов в садовых агроценозах степного Крыма.

Получены новые знания о влиянии микробных препаратов, внесенных в ризосферу растения, на доступность питательных элементов в почвах и процессы их потребления плодовыми саженцами.

Разработаны методические рекомендации по способам нейтрализации возникшей токсической щелочности в орошаемых почвах садов степного Крыма, повышающим эффективность использования садовых экосистем. Рекомендации применены ГП «Укргипросад» при обследовании почв и создании проектов садов и плодовых питомников в степном Крыму и на юге Украины на площади 4287 га (приложение Д).

Оценена устойчивость сортов алычи к содержанию компонентов токсичной щелочности в почвах, на основе которой рекомендован их сортимент для проектирования и закладки садов в степном Крыму.

Предложен показатель антиоксидантной активности ткани листа, на основании которого можно оценить устойчивость сортов плодовых растений к кислотным осадкам на ранних этапах воздействия неблагоприятного фактора или онтогенетического развития растения (сеянцы). Разработана шкала устойчивости плодовых растений к кислотным осадкам, которую можно использовать для подбора сортимента в районах с высоким уровнем загрязнения воздуха.

Разработана система содержания почвы в междурядиях садового агроценоза плодоносящей яблони с применением севооборота озимых сидератов в условиях пониженной водообеспеченности. Она использована при создании проекта яблоневого сада в ООО «Яросвит» Симферопольского района Республики Крым на площади 23,4 га.

Сформулированы методические рекомендации по применению микробных препаратов в плодовом питомнике, способствующих оптимизации питания и роста растений, улучшению качества саженцев и воспроизводству плодородия

почвы. На их основе создан проект плодового питомника в ООО «СП Солнечная Таврида» (г. Феодосия) на площади 1,35 га.

Результаты исследований использованы при чтении курса лекций «Плодоводство» в Академии биоресурсов и природопользования Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского.

Разработан способ обработки семян и корневой системы сеянцев плодовых культур раствором культуральной жидкости *Bacillus* sp. БИМ В-443 Д и пастообразной почвенной болтушкой, приготовленной на основе этой культуральной жидкости, на который выдан патент (приложение Е). Способ позволяет повысить всхожесть семян и приживаемость саженцев, стимулировать рост растений, увеличить выход посадочного материала.

Методология и методы исследований. Методологической основой диссертационной работы послужили теоретико-экспериментальные исследования, направленные на установление антропогенных факторов, отрицательно влияющих на состояние агроценозов плодового сада и питомника, выбор критериев оценки их влияния, создание шкал оценки относительной устойчивости плодовых растений к этим факторам и разработку приемов минимизации их негативного влияния. Использованы генетико-морфологический и сравнительно-географический методы изучения почв, почвенно-биологические исследования в системе почва – плодовое растение; морфологические и экофизиологические методы исследования растений, мониторинговый, полевой, вегетационный и лабораторный методы исследования почв, атмосферных осадков, состояния растений; натурное моделирование процессов и явлений окружающей среды, статистические методы обработки данных и модели множественной регрессии связи исследуемых параметров почв, растений и факторов среды.

Положения, выносимые на защиту:

1. Подкисление атмосферных осадков в степном Крыму обусловлено составом загрязняющих ионов и изменяется в течение года, в отдельные периоды достигая величин, приводящих к угнетению плодовых растений.

2. Реакция плодовых растений на подкисление атмосферных осадков зависит от генотипа, величины pH и химического состава осадков. Объективным критерием оценки относительной устойчивости генотипов рода *Prunus* к кислотным осадкам является показатель антиоксидантной активности ткани листа.

3. На современном этапе одним из факторов, снижающих продуктивность садовых агроценозов степного Крыма, является локальное ощелачивание орошаемых почв, которое оказывает непосредственное токсическое воздействие на растение и опосредованное через изменение доступности элементов питания в почве.

4. Введение севооборота озимых сидератов в междурядиях яблоневых садов в условиях пониженной водообеспеченности способствует воспроизводству плодородия почв и повышению продуктивности насаждений *Malus domestica* Borkh.

5. Бактеризация семян и корневой системы сеянцев плодовых растений в плодовом питомнике активными штаммами бактерий и микробными препаратами способствует оптимизации питания и роста растений, улучшению качества саженцев и повышению плодородия почвы.

Степень достоверности и апробация результатов. Обоснованность научных положений и результатов исследований вытекает непосредственно из экспериментальных данных, полученных в полевых и лабораторных условиях, подтверждается их статистической обработкой с использованием современных методов и программного обеспечения.

Основные результаты исследований докладывались на 37 международных и региональных научных конференциях, съездах и форумах: 4-м делегатском съезде почвоведов и агрохимиков Украины (Херсон, 1994); 5, 6, 7 и 9-м съездах Украинского общества почвоведов и агрохимиков (Ровно, 1998; Умань, 2002; Киев, 2006; Николаев, 2014); 2-й республиканской конференции молодых ученых и специалистов (Киев, 1991); Международной конференции молодых ученых (Ялта, 1995); конференциях стран сотружества «Экологические проблемы в

садоводстве» (Ялта, 1998, 2004; 2007); 5-м и 6-м Международных симпозиумах «On Environmtntal Contemination in Central and Eastern Europe» (Прага, Чешская Республика, 2000, 2003); 19-й Европейской региональной конференции ICID «Sustainable use of land and Water» (Брно − Прага, Чешская Республика, 2001); Международном симпозиуме “Plant and Environmental Stress” (Москва, 2001); 20-й Международной конференции “Long term air pollution effect on forest Ecosistems” (Зволен, Словацкая Республика, 2002); Международных научных конференциях (Запорожье, 1998; Санкт-Петербург, 2002; 2011; Киев, 2010; Умань, 2011; Ялта, 2011; Самохваловичи, Республика Беларусь, 2009, 2013; Донецк, 2012); 2-й Международной конференции “New trends in water and Environmental Engineering for Safety and Life: Eco-compatible Solution for Aquatic Environments” (Капри, Италия, 2002); Всероссийской конференции «Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям» (Москва, 2002); 4, 5 и 6-й Международных конференциях «Промислова ботаніка: стан та перспективи розвитку» (Донецк, 2003, 2007, 2010); 2-м симпозиуме “Symposium on Plant Health in Urban Horticulture” (Берлин, Германия, 2003); 13-м Международном симпозиуме «Symposium on apricot breeding and culture» (Мурсия, Испания, 2005); 7 и 8-й Международных конференциях «International Conference on Acid Deposition» (Прага, Чешская Республика, 2005; Пекин, Китай, 2011); Международном конгрессе Eurosoil 2008 (Вена, Австрия, 2008); Международной конференции «Значення та перспективи стаціонарних досліджень для збереження біорізноманіття» (Львов – Пожижевська, 2008); 20-й ежегодной конференции SETAC «Science and Technology for Environmental Protection» (Севилья, Испания, 2010); 13-м Международном симпозиуме «Symposium on Biological Nitrogen Fixation with Non-Legumes» (Мюнхен, Германия, 2012).

Публикации материалов исследований. По теме диссертационной работы опубликовано 74 научные работы, в том числе: 20 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ, одна монография, три методические рекомендации и 49 статей, материалов и тезисов докладов на конференциях, получен 1 патент (в соавторстве) на изобретение.

Объем и структура диссертации. Материал работы изложен на 385 страницах, состоит из введения, 7 разделов, заключения и списка литературы, состоящего из 586 названий, из которых 102 иностранных. Диссертация иллюстрирована 89 таблицами, 52 рисунками, содержит 6 приложений.

Благодарности. Автор выражает благодарность своему научному консультанту доктору сельскохозяйственных наук Ю.В. Плугатарю, докторам сельскохозяйственных наук Н.Б. Хитрову, В.М. Гориной, Н.Е. Опанасенко, доктору биологических наук Е.П. Шоферистову за советы и ценные замечания при подготовке диссертации. В проведении лабораторных и полевых экспериментов большую помощь оказали сотрудники отдела микробиологии НИИ сельского хозяйства Крыма, института микробиологии АН Республики Беларусь. В проведении полевых и аналитических работ принимали участие сотрудники лаборатории степного растениеводства и южных плодовых культур НБС – ННЦ, которые являются соавторами опубликованных работ. Всем им автор выражает глубокую благодарность.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

РАЗДЕЛ 1

НЕГАТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ В САДОВЫХ АГРОЦЕНОЗАХ И РАЗРАБОТКА ПРИЕМОВ ПОВЫШЕНИЯ ИХ УСТОЙЧИВОСТИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1. Функционирование садовых агроценозов в условиях техногенеза

Агроэкосистемы (агробиогеоценозы) — вторичные, измененные человеком экосистемы. Их основу составляют обедненные видами или монокультурные биотические сообщества, которые сходны с природными по автотрофности и основную энергию получают от солнца. Стратегия человека в искусственных экосистемах — получение продукции с заданными свойствами, повышение продуктивности экосистемы, поэтому в агроэкосистемах выращиваемые культуры отличаются высокой биологической продуктивностью и подвергаются искусственному, а не естественному отбору [Одум, 1987]. При этом человек вольно или невольно стремиться к снижению биоразнообразия. Вынос чистой продукции из агроэкосистемы делает ее зависимой от затрат энергии, материалов и труда человека.

Компоненты структуры агроэкосистемы связаны потоками вещества и энергии. Однако в отличие от естественных экосистем круговороты веществ в агроэкосистемах разомкнуты, так как происходит отток веществ с урожаем, при эрозии почвы и вымывании питательных элементов с пашни [Миркин, Наумова, 2014].

Вследствие обеднения видового разнообразия и высокого выноса вещества и энергии из системы, агроэкосистемы неустойчивы, в них слабо выражена способность к саморегулированию, без влияния человека они быстро распадаются или дичают и трансформируются в естественные биогеоценозы [Агроэкология, 2000].

В природных экосистемах, напротив, существует практически замкнутый цикл вещества и энергии, 90–99% её общей массы вовлечена в круговорот [Марчук, Кондратьев, 1992]. Первичная продукция и элементы питания реализуются самой системой для экологической организации, а вынос их из системы очень мал. Биотическое сообщество природной экосистемы намного разнообразнее, в ней полнее используется пространство ниши.

Природные экосистемы — это саморазвивающиеся системы, способные к саморегуляции и самоорганизации на основании прямых и обратных (положительных и отрицательных) связей и динамического равновесия (гомеостаза). По мнению Л.О. Карпачевского [2005] экологической стратегией естественных экосистем является создание биологического разнообразия, но отнюдь не биомассы. Для природы «важно» создание новых экологических ниш для поселения новых организмов.

Вся история человечества — это история усиления его влияния на природу [Марфенин, 2002]. По степени воздействия на природную среду в искусственных экосистемах в доиндустриальную эпоху удельные затраты энергии были сравнимы с энергопотоками в природных экосистемах. В интенсивном сельском хозяйстве энергопотребление намного выше благодаря антропогенным субсидиям (рисунок 1.1).

В 1960–1970-х гг. произошла так называемая «зеленая революция», характеризующаяся бурной интенсификацией сельского хозяйства. Были созданы новые сорта культурных растений с высоким продукционным потенциалом. К концу XX-го столетия средняя урожайность зерновых и зернобобовых культур составила 28 ц/га, в т.ч. в странах ЕС — 42, Северной Америки — 46, Азии — 30, Южной Америки — 25, Африке — 12. Урожайность сои и кукурузы в течение XX-го столетия выросла в 2,3–2,9 раза, что превысило такой же показатель за всю историю их возделывания [Жученко, 2008]. Это стало возможным вследствие применения техники, минеральных удобрений, высокоурожайных сортов и пестицидов. Уже в начале XX-го столетия стало казаться, что возможно заменить «даровые силы природы» техногенными факторами [Булгаков, 1900].

Рисунок 1.1. Схема функционирования агроэкосистемы
[Миркин, Хазиахметов, 1995]

Однако «зеленая революция» лишь отчасти решила проблему продовольственной безопасности и на некоторое время отодвинула проблему голода, но поставила агросферу на грань экологической катастрофы.

Рост урожайности в развитых странах обеспечивается, прежде всего, всевозрастающим вложением энергии, материализованной в технике, удобрениях, мелиорантах, пестицидах, системах орошения и др. Все это чревато увеличением не только энергетического, но и экологического кризиса. В результате интенсификации производства, повсеместной распашки земель, сведения лесов, чрезмерного применения минеральных удобрений и пестицидов, нарушения режимов орошения аридных территорий происходит обеднение биоразнообразия, глобальное загрязнение и разрушение окружающей среды [Жученко, 1988; Жученко, Миркин, 1990; Каштанов, 1993, 2000; Кирюшин, 1993, 1996, 2000 и др.].

Совершенствование орудий труда, внедрение высокоурожайных культур и сортов, требующих больших количеств питательных веществ, значительно повышает затраты энергии. В целом в мире около 40% пашни используется по интенсивному типу с большими вложениями энергии [Одум, 1986]. Однако продолжающийся рост энергопотребления в сельском хозяйстве не сопровождается повышением производства зерна [Brown, 1994]. Для удвоения урожая зерновых требуется в 10 раз увеличить затраты удобрений, пестицидов и

мощности. Так в Англии за десятилетие количество вносимых удобрений увеличилось в 8 раз, тогда как урожай возрос только на 50% [Ecological..., 1974]. Становится очевидным, что обеспечить рост урожайности на основе экспоненциального роста затрат невосполнимой энергии в дальнейшем практически невозможно [Жученко, 2008]. Дальнейшее увеличение пахотных земель проблематично из-за роста городов, большого количества засоленных, загрязненных и опустыненных земель. Причем, как указывает А.А. Жученко [1988], если бы все пахотные земли мира были переведены в режим интенсивного использования с высокими антропогенными субсидиями, то мы бы "проели" 95% добываемой энергии.

Таким образом, происходит усиление разностороннего антропогенного влияния на природные комплексы. Прямым следствием такого воздействия является формирование и развитие процессов техногенеза. Техногенез — это процесс изменения природных комплексов под воздействием производственной деятельности человека.

Интенсификация сельскохозяйственного производства в условиях техногенеза, нарушение экологического баланса функциональных связей и энергии в агроэкосистемах приводит к деградации почв, загрязнению природной среды остаточными количествами пестицидов, минеральными удобрениями, тяжелыми металлами, что в результате отражается на экологической и продовольственной безопасности [Миркин, 1997; Жученко, 1998; Миркин и др., 1999; Миркин, Хазиахметов, 2000; Милащенко и др., 2000; Brown, 1994, 1996].

Агроэкосистема, как и любая природная экосистема состоит из биоценоза и экотопа. Биоценоз — устойчивая система совместно существующих на определенном участке суши или водоема популяций автотрофных и гетеротрофных организмов (биота) и созданной ими биоценотической среды (по Б.А. Быкову, цит. по Агроэкология…, 2000, с. 34). Он состоит из продуцентов (растения, автотрофный компонент, «зеленый пояс» [Одум, 1986], которые поглощают свет, элементы питания и создают сложные органические вещества; консументов разных уровней (животный мир, гетеротрофный компонент) и

редуцентов (деструкторы, бактерии и грибы). Экотоп — это совокупность абиотических факторов среды для жизни растений, внешние условия жизни. Он состоит из множества экологических факторов и внешних условий жизни, которые включают: климатические факторы (климатоп) — свет, тепло, воздух, вода; почвенно-грунтовые (эдафотоп) — гранулометрический и химический состав почвы, ее водный и воздушный режим; рельеф (морфотоп); почвенные и поверхностные воды (гидротоп) и др. [Гейндрих, Гергт, 2003; Миркин, Наумова, 2012, 2014]. Все перечисленные факторы называют абиотическими. Биотические факторы связаны с влиянием живых организмов (фитогенные, зоогенные, антропогенные). В последнее время с развитием техногенеза антропогенные факторы выделяют в отдельную группу.

К наиболее существенным антропогенным факторам относятся следующие: химическое загрязнение воды, атмосферы и почвы, техногенное нарушение экосистем, деградация почв, опустынивание, промысел животных (включая лов рыбы), заготовка растительного сырья и др. В настоящее время роль антропогенных факторов резко возросла, и потому изучение последствий их влияния и разработка способов регулирования отношений человека и природы являются важнейшими проблемами прикладной экологии.

Отдельные прямодействующие экологические факторы взаимодействуют и объединяются в «групповые» факторы — комплексные градиенты [Уиттекер, 1980]. Примерами комплексных градиентов в условиях степного Крыма могут быть: увеличение влажности почвы при орошении, которое вызывает подъем уровня грунтовых вод и процессы засоления – рассоления территории, активизацию различных групп микроорганизмов, которые осуществляют гумификацию или минерализацию органического вещества. Вспашка с оборотом пласта и уплотнение почвы тяжелой техникой вызывает разрушение структуры, дегумификацию, потерю плодородия. Гранулометрический состав почвы влияет на растения и почвенную фауну через режим увлажнения, соотношение воды и воздуха в почве и динамику питательных элементов.

Те комплексные градиенты, которые влияют на состав и структуру фитоценозов в большей степени, чем другие, называются ведущими. В составе таких ведущих градиентов всегда есть лимитирующий фактор, т.е. условие или ресурс, которое находится в минимуме или максимуме и в большей степени, чем другие условия, влияет на состояние организмов, популяций или состав целой экосистемы [Наумова, Миркин, 2003]. Впервые закон минимума был сформулирован Ю. Либихом [Liebig, 1840]. Он установил, что рост растений ограничивает тот элемент, который имеется в минимуме (чаще всего N, P и K), даже если все другие вещества находятся в оптимальных количествах. Однако Ю. Либих говорил в основном о химических веществах. Позднее этот закон был распространен на другие факторы. F. Blackman [1905] сформулировал его как принцип лимитирующих (ограничивающих) факторов. Так, например, в степной зоне, ведущий комплексный градиент формируют экологические факторы, связанные с лимитирующим фактором увлажнения, так как почвы в этой зоне (черноземы, темно-каштановые) богаты питательными элементами. На этот комплексный градиент может накладываться комплексный градиент засоления почвы.

Однако лимитирующим фактором может быть не только тот фактор среды, который находится в минимуме, но и фактор, находящийся в максимуме может иметь ограничивающее, лимитирующее значение. В связи с этим V. Shelford [1915] сформулировал так называемый «закон толерантности», по которому отсутствие или невозможность произрастания вида определяется как недостатком, так и избытком любого из ряда факторов, имеющих уровень, близкий к пределам переносимости данным организмом. Этим фактором может быть содержание элементов питания и солей в почвах, реакция почвенного раствора и т.д.

Каждый экологический фактор характеризуется определенными количественными показателями: интенсивностью и диапазоном действия, которые изменяются в пространстве и во времени. Интенсивность действия фактора определяется его амплитудой (размахом колебаний), в пределах которых

возможна нормальная жизнедеятельность организма. В амплитуде фактора принято выделять три кардинальные точки и значения интенсивности фактора. Две точки — минимум и максимум характеризуют «пороговое» действие фактора, при котором развитие вида идет хуже всего. Эти точки называют пессимумом (зоной угнетения). Наилучшее развитие и минимум энергозатрат идет при оптимальной интенсивности фактора, в зоне оптимума (рисунок 1.2).

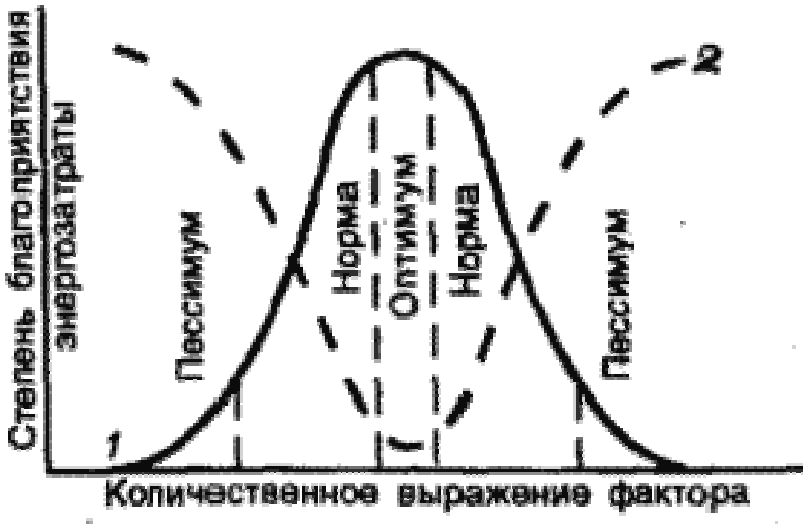

Рисунок 1.2. Схема распределения вида на градиенте среды. 1 – степень благоприятствования условий среды для организма, 2 – величина энергозатрат на поддержание жизнедеятельности [Миркин, Наумова, 2014].

Зона действия фактора — от минимума до максимума называется экологической валентностью вида. Это степень или диапазон адаптированности (толерантности, приспособленности, резистентности) живого организма к тем или иным изменениям условий среды. По величине диапазона распределения видов на градиенте экологического фактора различают виды высоковыносливые к данному фактору, т.е. имеющие широкую экологическую амплитуду, диапазон, валентность (эврибионтные или эвритопы). Другие виды способны жить лишь в условиях мало меняющегося действия фактора, узко приспособленные, с узкой экологической амплитудой, с малой экологической валентностью

(стенобионтные, стенотопы). Мезотопы имеют средний диапазон распределения по градиенту фактора [Миркин, Наумова, 2014].

Если один из экологических факторов выходит за пределы максимума или минимума, то особям грозит смерть, несмотря на оптимальное сочетание других факторов. Такие факторы (иногда называемые экстремальными) приобретают первостепенное значение в жизни вида (сорта, породы) в каждый конкретный отрезок времени.

Если в экологии обычно исследуется способность вида к выживанию (выносливость или биологическая устойчивость), то в агроэкологии изучают устойчивость агроэкосистемы. Однако изменения на более высоких уровнях организации связаны с изменениями на базовых уровнях организации живой материи — молекулярном и физиологическом [Кулагин, 2006]. Одним из критериев этой устойчивости является экологическая устойчивость сельскохозяйственного растения. Под ней понимают способность растения по-разному формировать свою потенциальную продуктивность при воздействии благоприятных и неблагоприятных факторов [Ильинская, Балахонский, 2015]. Так, например, выделяют «биологическую солеустойчивостъ» и «агрономическую солеустойчивостъ». Биологическая солеустойчивостъ — способность растения осуществлять полный цикл индивидуального развития на засоленной почве, нередко с пониженной интенсивностью накопления органического вещества при сохранении воспроизводства потомства. Агрономическая солеустойчивостъ — способность организма осуществлять полный цикл развития на засоленной почве и давать в этих условиях удовлетворительную продукцию. В последнее время биологическую солеустойчивость называют «солевыносливостью», а агрономическую — собственно «солеустойчивостью» [Вальков и др. 2004, с. 36–37]. В.Ф. Иванов добавляет, что устойчивость плодового растения к определенному фактору среды определяется способностью растения сохранять продуктивность на уровне 70−80% от полученой в оптимальных условиях [Иванов и др., 1998].

При условии благоприятных или допустимых климатических факторов, при размещении агроэкосистем следует учитывать лимитирующие эдафические факторы, а затем определять возможное снижение продуктивности агроэкосистемы, обусловленное этими факторами. В этом случае предпочтительнее подбор устойчивых пород, сортов, сорто-подвойных комбинаций плодовых растений, наиболее приспособленных (адаптивных) к конкретным эдафическим условиям, которые могут обеспечить высокую продуктивность без дополнительных затрат антропогенной энергии. Если значение фактора выше предела устойчивости, необходимы мелиоративные мероприятия, направленные на полную ликвидацию или снижение отрицательного влияния лимитирующих эдафических факторов [Иванов и др., 1998; Клименко, Иванов, 1996; Клименко, 2006; 2014].

Изучение свойств экотопов и воздействия факторов среды на живые организмы — задача наук факториальной экологии (климатологии, почвоведения, гидрологии, геоморфологии и др.) [Миркин, Наумова, 2012].

Основой, базисом любой агроэкосистемы является почва (педоценоз, эдафотоп), «коричневый пояс» по определению Ю. Одума [1986]. В почве в основном сосредоточен гетеротрофный компонент, который производит видоизменение органических веществ и трансформацию потоков энергии. Здесь при разложении органического вещества детритофагами и редуцентами образуются минеральные элементы, а также специфические органические вещества почвы — гумус. Запасами гумуса в первую очередь определяется плодородие почвы, которое является главной экономической и экологической характеристикой почвы. При снижении содержания гумуса ухудшаются условия развития полезной микрофлоры, происходит снижение внутрипочвенной энергии, элементов минерального питания, ухудшаются физические свойства эдафотопа.

Для растения важны все основные свойства почвы: ее химизм (элементы минерального питания, реакция почвенного раствора и т.д.), гранулометрический состав, структура, характер почвообразования, история почвы, ее тип. Мощность почвы также является экологическим фактором. Она обеспечивает величину

корнеобитаемого слоя растений. Водный тепловой, воздушный режимы почвы имеют большое значение, как для формирования растительности, так и продуктивности агроценозов.

Почва является «экосистемой в экосистеме» [Добровольский, Никитин, 1990; 2000], обладает рядом биосферных функций, участвует в метаболизме биосферы и глобальном круговороте вещества и энергии [Керженцев, 2006]. Почвенный покров влияет на атмосферу, гидросферу, литосферу и биосферу в целом [Ковда, 1985]. Доказано, что без полноценного почвенного покрова было бы невозможным возникновение и существование современной биосферы [Ковда, 1973]. По мнению ряда ученых, почва является местом зарождения жизни на земле [Добровольский, Никитин, 1990].

С почвой связаны основные круговороты веществ в биосфере (углерода, кислорода и азота). В почве происходит процесс биологической фиксации атмосферного азота, связанный с деятельностью микроорганизмов (прокариотов): бактерий, цианобактерий, актиномицетов. Это важно для зеленых растений – автотрофов, которые используют неорганический связанный азот.

Почва — главное звено управления агроэкосистемами. Обработка почвы, орошение, осушение, внесение неоправданно высоких доз удобрений, пестицидов долгие годы были направлены на получение максимальных урожаев. Распашка больших территорий на Земле, усиление техногенной деградации почв, сведение лесов, зарегулирование рек и т.д. привели к разрушению многих природных экосистем, нарушениям круговорота веществ и энергии в биосфере. Антропогенный процесс проявляется и в изъятии земель для строительных и транспортных целей, добычи полезных ископаемых открытым способом, развитии процессов эрозии, дигрессии, загрязнения и захламления. Согласно оценкам А.Б. Розанова и Б.Г. Розанова [1990] суммарная площадь почв, подверженных разрушению и деградации за всю историю человечества достигла 20 млн. км^2, что превышает общую площадь пахотных земель современного мира — 15 млн. км^2. Человечество встало перед угрозой глобальной экологической катастрофы, а рост народонаселения превысил рост урожайности основных

сельскохозяйственных культур в условиях техногенеза. Все это грозит экологической и продовольственной безопасности человечества.

В России в 40 субъектах Российской Федерации более 54% городского населения находится под воздействием высокого и очень высокого загрязнения атмосферного воздуха, недостаточно хорошо очищаются сточные воды, практически во всех регионах страны ухудшается состояние земель, «Опустыниванием, в той или иной мере, охвачены 27 субъектов Российской Федерации на площади более 100 млн. гектаров. Количество отходов, которые не вовлекаются во вторичный хозяйственный оборот, а направляются на размещение, возрастает» (“Основы государственной политики…”, цит. по Г.С. Розенберг и др. [2012]). Происходит деградация почвенного плодородия, связанная со снижением содержания гумуса, питательных макро- и микроэлементов [Минеев, Болышева, 2005; Булгаков и др., 2011].

В равнинном Крыму наблюдается очень большая степень антропогенной нагрузки и загрязнения. Здесь доминируют территории с распаханностью более 56%. Они занимают 12560 км^2 или 86,1% от общей площади исследуемого региона [Позаченюк, Завальнюк, 2006]. Это ареалы развития наиболее плодородных почв в равнинном Крыму, пригодных по своим свойствам для выращивания многих ценных культур, в том числе и плодовых (черноземы южные на рыхлых осадочных породах, распространенные в центральной степной части равнинного Крыма, темно-каштановые солонцеватые почвы Присивашья, лугово-черноземные остепененные и луговые аллювиальные почвы, приуроченные к древним и современным речным долинам). Большая степень распаханности территории приводит к развитию водной и особенно ветровой эрозии, обеднению биоразнообразия, снижению содержание гумуса и мощности гумусового слоя [Зволинский, Хомяков, 1998]. Все это влечет за собой значительное изменение химических, физических и биологических свойств почв и их деградацию [Антропогенная эволюция…, 2000].

Б.М. Миркин и Р.М. Хазиахметов [2000] рассматривают три стратегии управления агроэкосистемами: интенсивную, экстенсивную и компромиссную.

Первая предусматривает максимальное вложение антропогенной энергии и использование сортов сельскохозяйственных растений и пород сельскохозяйственных животных с высоким продуктивным потенциалом. Вершиной развития этой стратегии явилась «зеленая революция» [Миркин, Хазиахметов, 1995]. Эта революция нанесла серьезный удар по биосфере, так и не решив продовольственной проблемы [Миркин, 1997; Миркин, Хазиахметов, 2000; Brown, 1995; Kampf, 2000]. В связи с этим экологами всего мира разрабатываются концепции и системы альтернативных методов ведения сельскохозяйственного производства с целью приближения свойств искусственных экосистем к свойствам природных комплексов на смену интенсификации сельского хозяйства.

Экстенсивная стратегия управления направлена на значительное снижение затрат антропогенной энергии. Это биологическое (органическое, неортодоксальное, природное, биодинамическое, органо-биологическое и др.) или альтернативное земледелие, основанное на строгом соблюдении научных рекомендаций по освоению природно-ресурсного потенциала сельхозугодий и более умеренном использовании факторов интенсификации с целью уменьшения техногенных воздействий на агроэкосистемы, сохранения динамического равновесия составляющих агроэкосистемы. Термин биологическое земледелие был предложен Г. Кантом [1988]. Оно зиждется на следующих принципах:

1. Преобразование азота воздуха в растительный белок осуществляется с участием бобовых культур, специфических бактерий почвы или цианофитов, а не путем хемосинтеза азотных удобрений. Минимизировано применение минеральных удобрений, вносят только фосфорные экологически чистые удобрения.

2. Введение севооборотов с высокой долей почвовосстанавливающих культур и сидератов. Применение только органических удобрений с небольших ферм и переработкой всех растительных остатков. Разрыхление и оструктурение почвы осуществляется корнями растений, мелкими грунтовыми животными и микроорганизмами, а не с помощью орудий и механизмов при больших затратах энергии.

3. Борьба с сорняками, болезнями, вредителями ведется в основном биологическим путем — правильным чередованием культур в севообороте, выбором видов и сортов в соответствии с конкретными условиями, активирование естественных врагов вредителей, а не за счет применения химических средств защиты растений.

Человек идет на компромисс с природой и выбирает между экономическими и экологическими интересами. Особенно широко биологическое земледелие развивается в США, развитых странах Европы, субсидируется государством и направлено, скорее, на уменьшение производства сельскохозяйственной продукции, а не на ее рост. Страны, в которых наблюдается перепроизводство сельскохозяйственной продукции, могут пойти на условия финансовой поддержки фермеров, занимающихся органическим земледелием. В странах с недостаточным самообеспечением продуктами питания (Россия, Украина, страны СНГ, Азии, Африки и т.д.) развитие альтернативных сельскохозяйственных систем с резким снижением продуктивности является неприемлемым. Вот почему доля экологических хозяйств в мире составляет всего 1−2% общего числа. Б.М. Миркин, Р.М. Хазиахметов [2000] считают, что ее применение в широких масштабах может привести к голоду. Они рекомендуют применять эту стратегию на малопригодных или на более благоприятных землях для сохранения биоразнообразия при дотациях правительствами [Managing high-nature-conservation, 1999; Paracchini M. L. et al, 2008].

В настоящее время более перспективна третья стратегия компромиссного экологически ориентированного управления агроэкосистемами [Миркин, Хазиахметов, 2000; Хазиахметов, 2002]. Этот вариант соответствует идеям устойчивого развития мирового сообщества [Программа действий. Повестка дня на 21 век…, 1993; Дрейер, Лось, 1997; Розенберг Г.С. и др., 1998: Флавин, 1998]. В этом варианте антропогенные вложения умеренны, но достаточно существенны (до 200 кг/га удобрений, периодическое применение малоопасных пестицидов третьего поколения, в особенности гербицидов, необходимых для подавления сорных растений при использовании энергосберегающей безотвальной обработки

почвы), при условии активизации биологического потенциала агроэкосистемы [Миркин и др., 1999; Миркин и др., 2002]. При применении этой системы возможно подойти к решению проблемы продовольственной безопасности и сохранения природной среды для будущих поколений [Миркин, 1993; Миркин, Хазиев, 1997; Миркин, Хазиахметов, 2001; Brown, 1994, 1999].

К компромиссной, экологически организованной агроэкосистеме предъявляется требование сестайнинга, экологического императива [Миркин, Хазиев, Хазиахметов, 1992; Миркин, Хазиев, 1993; Миркин, Хазиахметов, 2000; Хазиахметов, 2002; Хазиахметов, Наумова, 1996], квазиустойчивого состояния [Моисеев, 1995] и адаптивного подхода – повышения эффективности вложений энергии в сельское хозяйство [Жученко, 1993; 2008].

Сестайнинг (sustainable – устойчивый) т.е. самоподдержание агроэкосистемы — это такое ее состояние, при котором агроэкосистема по своим функциональным параметрам приближается к естественной экосистеме с замкнутыми циклами вещества, происходит самовозобновление агроресурсов — воспроизводится почвенное плодородие, восстанавливаются гидрологические и гидрохимические характеристики агроландшафтов, поддерживается на высоком уровне биоразнообразие [Хазиахметов, 2002]. Следует отметить, что высокая способность к самовосстановлению и самоорганизации имеет место в системах, обладающих высоким уровнем сложности и большим количеством элементов [Агроэкологическая оценка, 2005].

Сестайнинг обеспечивается на основе экологического императива: системы запретов на ресурсоразрушающие методы природопользования (почвы, пастбища, грунтовые воды, биоразнообразие и др.). Сестайнинг означает приближение к экологическому равновесию за счет обеспечения максимальной замкнутости циклов вещества, минимизации количества антропогенной энергии, повышения биологического разнообразия и его способности к созданию полезных симбиотических связей. Это приводит, как правило, к уменьшению площади пашни [Шапар, 2009], размещению угодий согласно адаптивно-ландшафтному принципу [Каштанов, 1993; Кирюшин, 1996], повышению доли естественных

кормовых угодий, усилению значения лесомелиорации, в степных районах – создание защитных лесных насаждений [Плугатар, 2008; Поляков, Плугатарь, 2009; Плугатарь, Корженевский, 2014]. Ю.В. Плугатарь и В.П. Коба [2014] считают, что «для ведения экологически устойчивого земледелия необходимо увеличить общую лесистость территории в степном Крыму до 15–20% путем создания защитных насаждений, как сплошных, так и полосных».

По мнению А.С. Керженцева [2008, 2012] необходимо кардинально менять традиционные аграрные технологии, основанные на глубокой пахоте и монокультуре, которые стимулируют деградацию почв. Глубокая отвальная вспашка активизирует почвенную микрофлору для минерализации органического вещества почвы и обеспечения культурных растений элементами минерального питания. При монокультуре усваивается только 20% элементов минерального питания, остальные вымываются за пределы почвы.

Преодолеть это можно, применяя альтернативные технологии: беспахотное земледелие (нулевая и минимальная обработка) с мульчированием поверхности растительными остатками [Моргун и др., 1988; Шикула, Назаренко, 1990], используя сидераты и полидоминантные посевы [Марков, 1970, 1974; Кудасов, 1998; Зыбалов, Миркин, 2002; Минеев, Болышева, 2005]. Первые минимизируют при обработке выделение почвой элементов минерального питания, предотвращают водную и ветровую эрозию [Бараев, 1976; Каштанов и др., 1980; Лебедева, 1986], вторые обеспечивают их полное усвоение многовидовым фитоценозом. Все это приведет к усовершенствованию севооборотов путем повышения доли почвовосстанавливающих культур, посева сидератов, использование всей вторичной биологической продукции агроэкосистемы (отходы переработки зерна, сахарной свеклы, подсолнечника и т.д.), а также фитомассы зарослей рудерального разнотравья [Миркин, Хазиахметов, 2000; Шикула, 2004].

Агрофитоценоз любого пашенного растительного сообщества кроме культурных растений в виде монокультуры содержит еще и сегетальные сорные растения, объединяемых в сегетальное сообщество [Миркин, Наумова, 2010]. При

минимизации использования пестицидов на поле может формироваться система полезных симбиотических связей сорных и культурных растений, в том числе и в садовом агроценозе [Кроссли и др., 1987; Попова, 2005, 2012]. Сегетальные растения способствуют общему повышению разнообразия энтомоценоза и формированию системы полезных симбиотических связей.

В таком ценозе с высоким видовым богатством энтомофаги контролируют плотность фитофагов, сорные растения с контролируемой плотностью активизируют биогеохимический круговорот веществ между поверхностными и глубокими горизонтами почвы и способствуют повышению видового разнообразия фитофагов [Миркин, Хазиахметов, 2000].

За счет селекции сортов, устойчивых к засухе, морозам, грибковым заболеваниям можно обойтись без инсектицидов и фунгицидов, что значительно снизит загрязнение окружающей среды, позволит получать устойчивые урожаи [Жученко, 2008].

При экологизации агроэкосистем следует учитывать и экономические факторы. При всей своей экологичности, система должна быть рентабельной. При этом важно учитывать затраты не только на производство продукции, но и стоимость разрушаемых ресурсов (смыва мелкозема в результате эрозии, вторичного засоления почв при орошении, деградации пастбищ и т.д.). Предприятие, допускающее разрушение ресурсов, неизбежно разорится [Миркин, Хазиахметов, 2000].

Садовый агроценоз, как и всякий искусственный ценоз, отличается нестабильностью. Для поддержания ее в устойчивом состоянии необходимы большие энерго- и трудозатраты. Кроме того, на протяжении многих лет целью его функционирования считалась продуктивность и ее увеличение. Это достигалось путем интенсификации, которая подразумевает большую интенсивность механических воздействий на почву, химических воздействий на растение путем применения средств химической защиты и минеральных удобрений, орошения, введения высокопродуктивных быстро вступающих в

плодоношение сортов и т.д. [Родючість ґрунтів …, 1992; Кирюшин, 1996; Шикула и др., 1998; Дорошенко, 2002; Жученко, 2004].

Садовый агроценоз — это длительная монокультура, которая отличается многолетним совместным влиянием на почву самих плодовых растений и комплекса технологических приемов их культивирования с применением высоких антропогенных субсидий. В этом случае все проблемы и отрицательные последствия техногенеза имеют место и стоят даже еще более остро. Это связано с упрощением структуры ландшафта, уменьшением числа ярусов растительного покрова, несовершенством способов обработки почвы (применение тяжелой техники, глубокой вспашки с оборотом пласта), развитием специфического набора фитофагов и патогенов, обеднением микробного разнообразия, содержанием поверхности почвы свободной от сегетальной растительности.

Высокие нормы минеральных и резкое снижение внесения органических удобрений, интенсивное орошение, полное отчуждение растительных остатков, постоянное глубокое рыхление почвы привели к усилению и преобладанию процессов минерализации над процессом гумификации, большему снижению содержания гумуса по сравнению с агроценозами полевых культур, развитию процессов ирригационной и ветровой эрозии, уплотнению почвы, разрушению агрономически ценной структуры [Иванов и др., 1998; Дорошенко и др., 2005; Попова, 2010; Придорогин, 2010]. К этому следует добавить, что современные процессы интенсификации отрасли характеризуются высокой энерго- и ресурсоемкостью, плодоношение плодовых растений отнюдь не регулярно, роль техногенного фактора часто неоправданно велика, а вредность используемых химических соединений чрезвычайно высока [Дорошенко и др., 2005]. В связи с этим в противовес интенсификации садоводства предложены органическая (альтернативная) и адаптивная (адаптивно-компромиссная) системы создания плодовых агроценозов [Дорошенко, 2002; Попова, 2005; Кондратенко, 2009].

Органическое садоводство, как и органическое земледелие, предполагает сокращение или исключение применения минеральных удобрений и пестицидов благодаря использованию агрономических и биологических способов защиты

растений, применение органических удобрений, полученных путем компостирования различных растительных остатков. Эта система позволяет получить экологически безопасную продукцию, которая реализуется по более высоким ценам, чем полученная традиционным способом. Однако применение такой технологии может вызвать снижение продуктивности, производительности труда, увеличение трудовых затрат. В связи с этим такое производство требует датирования государства, по крайней мере, на стадии становления [Агроэкология, 2004]. В России пока реализуются только элементы технологии органического садоводства (учхоз "Кубань" КубГАУ, Дорошенко и др., 2005; 2015]. Для засушливых условий степного Крыма такая технология не разработана.

Адаптивная или высокоадаптивная (по международной классификации – интегрированная) система садоводства направлена на преодоление недостатков двух предыдущих систем. Данная система разработана в прикубанской зоне плодоводства коллективом авторов под руководством академика И.Т. Трубилина и защищена патентом [2004]. Она основана на принципе устойчивого развития и предусматривает применение:

а) высокоадаптивных, устойчивых к грибным заболеваниям преимущественно средне- и сильнорослых сортов, привитых на полукарликовых, среднерослых клоновых или семенных подвоях, не требующих опоры [Дорошенко, 2004];

б) удобрений, в том числе минеральных, которые вносят в почву только до начала вегетации плодовых деревьев в виде подкормок;

в) биологизированной защиты от вредных организмов, в частности значительный спектр биопрепаратов;

г) почву в каждом междурядье или черезмеждурядно содержат по дерново-перегнойной системе, а в приствольной полосе — по системе черного пара механическим способом [Дорошенко и др., 2010];

г) орошение не является обязательным элементом при ведении сада по предложенному способу.

Предложенная технологическая система обеспечивает гарантированное производство экологически безопасной плодовой продукции (в том числе для детского питания) в различных почвенно-климатических условиях на достаточно высоком уровне при одновременном ресурсосбережении и соблюдении принципов природоохранности.

Разрабатывается также концепция, основанная на сочетании экологического и ландшафтного научных подходов одновременно [Придорогин и др., 2006; Придорогин, 2010]. Эта концепция включает повышение качества плодовых насаждений и урожайности садов с учетом состава и функций структурных подразделений формируемого садового ландшафта и основана на отечественных разработках адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий [Агроэкологическая оценка…, 2005].

Анализ возможных способов и технологических приемов экологизации биогеоценоза плодового сада при сохранении высокой его продуктивности показывает, что в Крыму такие приемы пока разрабатываются мало. В 90-е годы произошел значительный спад интенсификации, связанный с распадом СССР и экономической реформой в Украине. Продуктивность плодовых насаждений снизилась из-за деградации почвы, отсутствия органических и дороговизны минеральных удобрений, загрязнения окружающей среды (остатки пестицидов, тяжелые металлы, кислотные дожди и др.). В связи с этим встала необходимость изучения последствий интенсификации и техногенеза в садовом агроценозе в условиях степной зоны Крыма, где основными лимитирующими факторами является увлажнение и засоление (солонцеватость, ощелачивание) почвы, загрязнение воздуха, а также разработки приемов и способов повышения устойчивости и продуктивности садового агроценоза на принципах адаптивности и устойчивого развития.

1.2. Воздействие кислотных осадков на плодовые растения

Загрязнение атмосферы — наиболее опасное последствие техногенеза. В настоящее время насчитывается более 2000 загрязнителей атмосферы,

значительная часть из которых образуется в результате хозяйственной деятельности человека. Особо опасными следствиями загрязнения атмосферы является усиление парникового эффекта, разрушение озонового слоя и кислотные осадки.

Кислотные осадки — это осадки, загрязненные кислотами в результате трансформации выбросов оксидов серы и азота в кислотообразующие частицы [Бримблукумб, 1988; Израэль и др., 1989]. Выбросы вредных оксидов образуются в результате работы промышленных предприятий, ТЭЦ, автотранспорта. Эти частицы вступают в реакцию с водой атмосферы и образуют растворы кислот: серной, сернистой, азотной, азотистой и других, которые и понижают величину pH дождевой воды. Кислотными называют осадки с pH ниже 5,65 (равновесная с углекислым газом чистого воздуха при температуре 20^{o}C). Кислотные выпадения могут проявляться в виде дождя, аэрозоля, тумана, снега, града и др.

Термин «кислотный дождь» впервые был введен в 1872 году английским инженером Робертом Смитом в книге «Воздух и дождь: начало химической климатологии» [Заиков, 1991]. Его внимание привлек викторианский смог в Манчестере. Ученые того времени отвергли теорию о существовании кислотных дождей (КД). Однако в 1950-х годах КД были зафиксированы в Западной Европе, в частности в Скандинавии и Северной Америке. С ростом промышленного производства и использованием большого количества угля и мазута в промышленности, энергетике и транспорте, кислотность осадков возрастала, и уже к 70–80-м годам прошлого века на значительных территориях востока США, юго-востоке Канады и западе Европы средневзвешенные годовые значения pH атмосферных осадков колебались от 4,0 до 4,5, а абсолютные значения достигали 2,5–2,7 [Brinelf, 1984].

Специфическая особенность КД — их трансграничный глобальный характер, обусловленный переносом кислотообразующих выбросов воздушными течениями на большие расстояния – сотни и даже тысячи километров. Этому в немалой степени способствовала принятая некогда «политика высоких труб» как эффективное средство против загрязнения приземного воздуха. Почти все страны

одновременно являются «экспортерами» своих и «импортерами» чужих выбросов.

Явление КО приобрело масштаб мировой экологической проблемы, так как из-за дальнего переноса КО могут выпадать на относительно чистые сельскохозяйственные территории [Galloway et al., 1987; Khwaja et al., 1990; Kong-Kun et al., 1992; Avila, 1999; Lee et al., 2000; Serengil, 2002; Agrawal, 2005]. КО оказывают отрицательное воздействие на природные экосистемы, повреждают и уничтожают леса, особенно хвойные, которые в хвое способны накапливать загрязняющие вещества [Методические рекомендации… 1998; Щербатюк, 2002; Плугатарь и др., 2014]. Так в Германии пострадало 30%, а местами 50% лесов. Загрязнение воздуха наносит вред здоровью людей, приводит к разрушению старинных зданий и монументов [Brimblecombe, 2011].

В связи с этим с начала 70-х годов 20-го столетия в Европе и Северной Америке проводится мониторинг химических примесей природного воздуха и атмосферных осадков на региональном уровне, чтобы обеспечить необходимую информацию о трансграничных переносах поллютантов. В Европе в 1979 г. была заключена конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния и ряд протоколов (1985, 1988, 1991 и 1994 гг.) по сокращению различных загрязняющих веществ в воздухе. В рамках этой конвенции в 1984 г. была создана Программа по мониторингу и оценке дальнего переноса веществ, загрязняющих воздух в Европе (EMEP). Все эти меры способствовали значительному сокращению выбросов серы (на 60%), азота (на 30%), летучих органических (на 35%), других загрязняющих веществ и их выпадений в Европе [Cleaning the air, 2004; Andersson, Langner, 2007].

Несмотря на значительное сокращение выбросов вредных веществ в атмосферу Европы, многие страны юго-восточной и восточной Европы, а также бурно развивающиеся страны Центральной Азии (Китай, Индия) продолжают выбрасывать миллионы тонн загрязняющих веществ в атмосферу [Wang et al., 2011].

Крым является курортным районом с относительно чистыми почвами для выращивания сельскохозяйственных культур, в том числе овощей и фруктов для рекреации [Опанасенко, 2009]. Выпадение здесь вредных поллютантов, в том числе и КД, способно нанести вред не только здоровью людей, но загрязнить и нанести ущерб агроэкосистемам. Такой ущерб был оценен многими исследователями для разных районов мира, в том числе и в Крыму [Ильницкий и др., 2010; Levitt, 1972; Emberson et al., 2001; Feng et al., 2001; Emberson et. al., 2003; Ashmore et al., 2004; Kang et al., 2004; Agrawal, 2005]. Так, по данным Европейского парламента, экономический ущерб от кислотных осадков в странах ЕЭС составил в начале 80-х годов прошлого века около 40 млрд. фунт. ст. в год или 4% от ВНП [Ильницкий и др., 2010].

Особенно могут страдать садовые агроэкосистемы, большинство из которых являются многолетними, испытывающими воздействие КО на протяжении десятков лет. В целом плодовые растения признаны чувствительными к загрязнению воздуха кислотными газами [Гудериан, 1979; Физиология плодовых…, 1983; Bell et al., 2002]. Однако, реакция косточковых плодовых культур, особенно представителей рода *Prunus* L., на КО практически не изучена. Известно лишь, что они более чувствительны к загрязнению атмосферы кислыми газами, чем семечковые плодовые культуры [Hasebe et al., 1987; Peng et al., 1992]. Кроме того, из-за значительной неустойчивости садовых агроценозов, связанной с длительной монокультурой и обеднением биоразнообразия, они наиболее уязвимы к изменениям в экотопе и в частности в составе атмосферного воздуха.

В связи с тем, что КО в природе — явление эпизодическое и случайное, а симптомы повреждения растений неспецифичны, большое количество исследований посвящено изучению физиолого-биохимических реакций растений на загрязнение. Метод оценки как абиотических, так и биотических факторов природной среды при помощи биологических систем называется биоиндикацией [Биоиндикация загрязнений…, 1988]. Биоиндикация техногенного загрязнения атмосферного воздуха — один из общепризнанных современных способов

контроля состояния окружающей среды [Ильницкий и др., 2010]. В соответствии с уровнями организации биологических систем установлены различные уровни биоиндикации: 1-й – биохимические и физиологические реакции, 2-й – анатомические, морфологические, биоритмические и поведенческие отклонения; 3-й – флористические, фаунистические и хорологические изменения; 4-й – ценотические изменения; 5-й – биогеоценотические изменения; 6-й – изменения ландшафтов [Биоиндикация загрязнений…, 1988].

При биоиндикации используют два метода мониторинга состояния растения или экосистемы: пассивный и активный [Rade, 1982]. Первый используется для оценки свободно живущих в природе или экосистеме организмов (например, влияние засоления на рост, состояние и минеральное питание плодового дерева). При активном мониторинге исследуются повреждения или отклонения от нормы на тест-организмах, которые находятся в стандартизованных условиях на территории, которая исследуется (например, применение искусственных кислотных дождей или засоления определенными дозами в определенное время для определения порогового (критического, предельно допустимого) значения лимитирующего фактора).

Наиболее информативными при изучении воздействия газов или кислоты на растение в аутэкологии являются морфологические показатели растений: рост различных органов, густота кроны, повреждения, биологическая продуктивность и др. [Ильницкий, 2010]. Эти признаки фиксируются в основном визуально. Более точными методами биоиндикации являются физиолого-биохимические реакции. Изучение реакции древесных растений на загрязнение атмосферы кислыми газами, когда внешних проявлений угнетения еще не отмечается, с целью выявления наиболее устойчивых сортов можно решать как на популяционном и морфо-анатомическом, так и на физиолого-биохимическом уровне [Гарифзянов и др., 2009]. Особенно информативными могут быть многие физиолого-биохимические реакции растения. В условиях окислительного стресса, вызванного КО, происходит широкий спектр изменений в растительном организме, которые характеризуются как стресс-индуцированные [Илькун, 1978].

Разнообразие ответных реакций древесных растений на воздействие поллютантов свидетельствует о различных стратегиях устойчивости видов [Кулагин, 2006].

В экстремальных условиях важнейшим механизмом устойчивости является активизация антиоксидантной системы (АОС) организма, в которую входит большое число компонентов. Они защищают клетку от разнообразных экстремальных воздействий, в том числе и от оксидов серы и азота, а также загрязняющих воздух кислот [Безсонова и др., 1989; Брянцева и др., 1991; Черных, 1994; Pell, 1988; Cottam et al., 1992; Stegmann et al., 1993; Yu, 1993; Agrawal et al., 2003]. Важными компонентами этой системы являются низкомолекулярные метаболиты, проявляющие антиоксидантные свойства: аскорбиновая кислота (АК), глутатион (ГТ), пролин, полифенолы, флавоноиды, каротиноиды и др.; а также ферменты оксидоредуктазы (каталаза, пероксидазы, СОД и др.) [Гарифзянов, 2009, 2011; Alonso et al., 2001; Mittler et. al, 2002].

Устойчивость растения к окислительному стрессу зависит от активности его АОС, которая обусловлена генетически. Её компоненты защищают клетку от чрезмерного накопления пероксидов и перекисного окисления липидов, а также регулируют окислительно-восстановительные процессы [Черных и др., 1994; Безсонова и др., 2010; Pell, 1988; Stegmann et al., 1993]. В данном случае, разная устойчивость растений к КО не может быть связана с адаптациями к данному экологическому фактору, а обусловлена, скорее всего, преадаптациями — «скрытыми» приспособлениями, которые проявились и оказались полезными при появлении нового фактора — загрязнения атмосферы кислыми газами. Это связано с тем, что при воздействии КО на растение индуцируется окислительный стресс, сопровождающийся образованием активных форм кислорода в растении, который приводит к окислению липидов, белков, повреждению ДНК и т.д. [Гарифзянов, 2009]. Такой стресс может быть вызван различными факторами среды: низкими температурами, недостатком влаги, засолением, повышенными концентрациями тяжелых металлов и т.д. [Шевякова и др., 1965; Илькун, 1971; Кулагин, 1974; Николаевский, 1979; Рачковская, Ким, 1980; Бессонова и др., 1989; 2010; Гарифзянов и др., 2011; Асадулаев, Рамазанова, 2014]. Растение реагирует

на это усилением или подавлением активности АОС, что отражает проявление защитных свойств организма к любому экологическому стрессу и параллелизм между различными видами устойчивости. В связи с этим наиболее чувствительные к стрессу элементы АОС могут считаться индикаторными и универсальными при определении реакции растения на стресс и его адаптивных возможностей. Такими элементами могут быть АК, ВГТ (восстановленный глутатион), ОРА (общая редуцирующая активность), активность ферментов каталазы, пероксидаз и т.д.

Однако компоненты АОС у плодовых растений, для использования их как тест-объектов мониторинга воздействия КО на садовый агроценоз изучены недостаточно [Клименко и др., 2008].

Вследствие изменения pH атмосферных осадков и почвы, КО могут оказывать значительное влияние на минеральное питание растений [Илькун 1978; Hasebe, 1987; Jiang, 1989; Foster, 1990]. Это выражается в увеличении содержания катионов в листьях для нейтрализации кислоты у устойчивых видов и накопление серы при сульфатном повреждении у слабоустойчивых. По мнению L. Kong-Kun [1992] в коре деревьев сера накапливалась в течение зимнего периода, и этот показатель может быть использован как индикаторный для загрязненной территории. I. Noudi [1992] отмечает, что капли КД ускоряют вымывание из клеток листьев минеральных веществ, аминокислот, белков и углеводов, которые могут нейтрализовать их на поверхности листьев. Как только эти вещества, служащие барьером, вымываются, ионы водорода могут проникать в ткани листа через слой кутикулы, повышать кислотность тканей с появлением симптомов повреждения.

В литературе отмечается, что воздействие растворами серной кислоты приводило к более значительным изменениям минерального питания у древесных растений, чем азотной [Walkes, 1989]. Однако сведений об изменении в содержании элементов питания в листьях косточковых плодовых культур как индикационного показателя влиянии КО малочисленны [Wood, Bormann, 1975; Roberts et al., 1986]. В связи с этим некоторые элементы минерального питания и

их изменения под действием кислотного стресса могут быть индикаторными при мониторинге воздействия КО на растительность.

В связи с вышесказанным нами был проведен мониторинг химического состава атмосферных осадков на протяжении 14 лет в степном Крыму [Клименко, 2014] с целью слежения за их химическим составом и величиной pH, обнаружения КО, установления зависимостей величины их pH от химического состава, разработки моделей прогноза подкисления атмосферных осадков в данном регионе.

На основании полученных данных мониторинга были разработаны и испытаны натурные активные модели и изучена реакция тест-объектов на воздействие ИКД различного химического состава и величины pH. На тест-объектах плодовых растений рода *Prunus* (*P. persica* (L.) Batsch, *P. armeniaca* L., *P. cerasifera*, *P. domestica* L.) по морфологическим (рост развитие), физиолого-биохимическим показателям (элементы минерального питания и компоненты АОС) и продуктивности растений были установлены пороговые (критические, предельно допустимые) для плодовых культур величины pH КД при остром кратковременном воздействии, а также оценена относительная устойчивости различных сортов к этому неблагоприятному явлению с целью подбора более устойчивых из них при создании садовых агроценозов в районах с повышенным содержанием поллютантов в воздухе.

1.3. Негативные тенденции в эдафотопе как экологическое следствие длительного орошения степных автоморфных почв и пути их преодоления

Орошение — одна из форм интенсификации и увеличения продуктивности агроценозов в условиях с недостаточным атмосферным увлажнением [Агроэкологическая…, 2005]. Орошение почв степного Крыма водами Северо-Крымского канала (СКК) продолжалось на протяжении 50 лет. Это привело к повышению продуктивности агроценозов и дало возможность развития промышленного садоводства в степных районах. Так к середине 80-х годов

прошлого столетия в Крыму насчитывалось более 60 тыс. га садов, из них больше половины орошаемых. В степных районах области располагалось около половины площади орошаемых садов (17 тыс. га) [Сады и виноградники…, 1984]. На протяжении 1991–2007 гг. площадь агроценозов плодовых и ягодных культур в Украине и Крыму, к сожалению, сократилась на 73,3% [Кондратенко и др., 2008]. В настоящее время общая площадь плодоносящих садов в Крыму составляет 12 тыс. га [Плугатарь, Смыков, 2015], в степных районах она составляет 5,7 тыс. га, что втрое ниже, чем в 1984 г. [Копылов, 2014].

Несмотря на несомненные преимущества орошаемого земледелия в условиях засушливого климата степного Крыма, длительное орошение почв степной зоны привело к негативным последствиям. В первые годы орошения резко возрастала минерализация гумуса и содержание миграционных форм гумусовых соединений. Уменьшение содержания органического вещества вызвало ухудшение физических, физико-химических, агрохимических и других свойств почвы [Полупан, 1986; Розанов и др., 1989].

К негативным последствиям длительного орошения следует отнести поднятие уровня грунтовых вод на больших территориях и вторичное засоление почв [Новикова, 1975; Наукові основи…, 2009], изменение водного режима степных автоморфных почв из непромывного в периодически промывной с рассолением хорошо дренированных почв и изменением их солевого состава [Полупан, 1986; Дрозд, 2009; El-Gabaly, 1971]. При этом карбонаты и сульфаты кальция вымывались из профиля, гидрокарбонаты натрия и магния накапливались. Вследствие этого состав солей из преимущественно сульфатно-кальциевого становился гидрокарбонатно-натриево-кальциевым с присутствием соды [Бобков, 1976а; Ковда, Самойлова, 1971; Окультуривание…, 1984].

Процесс образования и повышения концентрации щелочных солей в почвах назван ощелачиванием и впервые введен Ф.И. Козловским [1991] как элементарный почвенный процесс. Значительное развитие он получил в орошаемых почвах и был обнаружен практически на всех оросительных системах Украины [Новикова и др., 1986; Новикова, 1999; Гаврилович, 2002; Новикова,

Гаврилович, 2007], Ростовской области [Новикова, 2008], Северного Кавказа [Бобков, 1976; Буйлов и др., 1981; Скуратов, Докучаева, 1983], Заволжья и Прикаспийской низменности [Славный и др., 1973; Разумова, 1977; Зимовец, 1982], в орошаемых почвах Африки, Индии, Китая и других стран [Barbiéro et al., 2001; Wang et al., 2009; Bhadauria et al., 2010].

Процесс ощелачивания также связан с рассолонцеванием почв, когда происходит вытеснение иона Na^+ из ППК кальцием гидрокарбонатов (в том числе и содержащихся в оросительной воде) после выщелачивания солей, а также гидролизом ППК, содержащего обменный натрий, с образованием гидроксида натрия [Клименко, 1987; Новикова, 2002; Воробьева, Панкова, 2008; Mashali, 1999]. В большинстве почв максимальные концентрации соды обнаружены во втором полуметре почвы, имеющем солонцеватость и содержащем карбонат кальция [Окультуривание…, 1984; Новикова, Конюшкова, 2013].

Ощелачивание орошаемых почв может быть вызвано также эпизодическим появлением соды и гидрокарбонатов натрия в поливной воде, что увеличивает ее pH до 8,4 – 9,7 [Гоголев, Хохленко, 1978; Кукоба, Балюк, 1982; Сафонова и др., 1998; Вальков и др.., 2004; Новикова, Гаврилович, 2007; Балюк, Чаусова, 2009]. Это связано, во-первых, с нагреванием оросительной воды в каналах и при подаче ее на поля в жаркое время суток, что вызывает сдвиг карбонатно-кальциевого равновесия с образованием иона CO_3^{2-} и резкое увеличение щелочности почвы (так называемый щелочной удар), во-вторых, с фотосинтетической деятельностью водорослей. При интенсивном фотосинтезе в дневное время происходит поглощение углекислоты, в том числе и из ионов HCO_3^-, при этом количество CO_3^{2-} достигает 50 мг/л, а pH — 9,7 [Новикова, Гаврилович, 2007].

Оросительная вода Днепра также нередко содержала соду и гидрокарбонаты натрия и магния, которые, аккумулируясь в почве, повышали ее щелочность [Новикова, Гаврилович, 2007; Балюк, Чаусова, 2009].

При орошении степных почв Крыма ощелачивание проявляется в увеличении общей щелочности до 1,0–1,2 смоль(экв)/кг, а также в образовании и повышении содержания гидрокарбонатов натрия и магния (вредных щелочных

солей, по определению С.Ф. Неговелова и В.Ф. Валькова [1985] до 0,5–0,7 смоль(экв)/кг [Новикова и др., 1986; Клименко, 1988]. Частота появления этих солей также повышается. Так, в результате длительного орошения она возросла почти вдвое по сравнению с неорошаемыми почвами и достигла 62–98%. Сода при этом обнаруживалась вдвое чаще, чем в неорошаемых почвах (12–59% случаев) [Клименко, 1984], однако абсолютные ее величины незначительны (0,01–0,03 смоль(экв)/кг). Максимальное количество щелочных солей приходится на среднюю и нижнюю часть профиля почв (слой 60–100 см), что отмечают многие авторы для черноземов и темно-каштановых почв Крыма [Новикова и др., 1986; Клименко, 1992; Новикова, 1999; Гаврилович, 2002; Сторчоус, 2002; Новикова, Гаврилович, 2007].

Ощелачивание почв в садовых агроценозах также имеет место. Было установлено, что из садопригодных почв этот процесс наиболее интенсивно проявлялся в темно-каштановых и лугово-каштановых почвах разной степени солонцеватости [Гаврилович, 2002] и черноземах южных [Сторчоус, 2002; Орел, 2011].

Широкое применение плантажной вспашки как мелиоративного приема на солонцеватых почвах имеет свои положительные стороны. Она снижает солонцеватость, улучшает физические свойства почв, обеспечивает заметное выщелачивание легкорастворимых солей [Бабушкин, 1990; Новикова, 1999]. В условиях орошения ее влияние усиливается, так как плантажная вспашка, с одной стороны, обогащает верхний слой почвы кальцием, что активизирует процессы обмена, а с другой — способствует большей водопроницаемости солонцеватых почв, что приводит к интенсивному выносу солей из почвы оросительной водой [Гоголев, 1982]. В связи с этим широко известны случаи увеличения общей щелочности и усиления ощелачивания в результате плантажной вспашки как в орошаемых [Воротник, 1967; Клименко, 1992], так и в богарных условиях [Любимова и др., 2004; Новикова, Конюшкова, 2013; Климанов и др., 2014].

Щелочная реакция почвенного раствора является лимитирующим фактором роста плодовых растений и продуктивности садового агроценоза. Наличие соды и

повышенное содержание обменного натрия, ухудшая физические и химические свойства эдафотопа, нарушает функции листового аппарата, вызывает усыхание ветвей и преждевременное отмирание деревьев [Рассел, 1955; Хейуорд, Бернштейн, 1959; Канивец, 1960; Шконде, Бутенко, 1970; Лебедев, 1972; Петросян и др., 1977; Удовенко, 1978; Семенюк, 1983; Hauward, Wadleigh, 1949]. Нарушается минеральное питание растений, связанное с недостатком кальция, калия, некоторых микроэлементов и избытком натрия [Строгонов, 1958; Церлинг, 1978; Иванова и др., 1990]. В связи с этим сильносолонцеватые почвы и солонцы для размещения садовых агроценозов непригодны [Иванов, 1986]. Средне- и особенно слабосолонцеватые почвы с более низким значением pH и содержанием обменного натрия, чем сильносолонцеватые и солонцы, на юге России и в Крыму широко используются под садовые агроценозы. Однако, при сочетании некоторых факторов (например, плантажной вспашки и орошения) возможно увеличение щелочности в эдафотопе и даже появление соды [Клименко, 1988].

Повышение содержания щелочных солей в почве негативно отражается на росте, состоянии и минеральном питании плодовых растений [Демчинская-Подколзина, 1970; Заяц, 1972; Клименко, Клименко, 1989; Иванова и др., 1990; Клименко, 1993; Bernstain, 1964]. Плодовые растения являются стенобионтными и обладают незначительной устойчивостью по отношению к засолению почв и в частности к щелочным солям [Чендлер, 1960; Иванов, 1967, 1973, 1986; Иванов, Иванова, 1976; Неговелов, Вальков, 1985; Иванов и др. 1998]. Для большинства плодовых культур (*M. domestica*, *P. persica*, *C. avium*, *Pirus communis*, *P. armeniaca* и *P. domestica*) установлены оптимальные и критические показатели содержания щелочных солей в почвах Крыма для создания устойчивых и продуктивных садовых агроценозов на почвах с высокой щелочностью [Клименко, 1988; Клименко, Иванов, 1996; Иванов и др., 1998]. Однако для растений алычи (*P. cerasifera*), ценной, высокоурожайной, рано созревающей, перспективной для Крыма культуры, такие сведения отсутствуют.

Наличие карбонатов кальция — важный генетический признак почвы, определяющий многие ее физические, физико-химические и агрохимические

свойства. При интенсивном и длительном орошении хорошо дренированных почв происходит выщелачивание карбонатов из почвенного профиля [Антипов-Каратаев, Филиппова, 1955; Барановская, Азовцев, 1981; Барановская, 1990]. Это приводит к ухудшению структурного состояния и слитизации почв. Присутствие соды и повышенное содержание других щелочных солей способствует снижению растворимости кальцита, он теряет свой мелиоративный эффект [Минашина, Кочеткова, 1983; Окультуривание…, 1984]. При этом в почвенном растворе остается столь мало кальция, что плодовые растения могут испытывать недостаток в этом элементе [Клименко, 1993]. В связи с этим важно проследить, как влияет процесс ощелачивания длительно орошаемых почв на содержание карбонатов кальция в почве.

Таким образом, снижение общей площади насаждений под садовыми агроценозами в степных районах Крыма в последние годы и падение их продуктивности связано не только с экономическими проблемами, но и с перечисленными экологическими проблемами, связанными с орошением. Обзор литературы показывает, что процессы образования и источники поступления щелочных солей в эдафотопе изучены достаточно полно. Недостаточно сведений по распространению и степени ощелачивания в орошаемых почвах степного Крыма под садовыми экосистемами, а также влиянию этого явления на другие свойства почвы и некоторые сорта плодовых растений.

В связи с этим нами изучены масштабы и степень ощелачивания орошаемых почв степного Крыма, отводимых под садовые агроценозы и плантажированных почв, занятых ими, влияние повышенного содержания вредных щелочных солей на химические свойства эдафона и реакция тест-объектов плодовых растений на эти изменения для определения наиболее устойчивых сортов *P. cerasifera* и определение допустимых и реально оптимальных концентраций гидрокарбонатов натрия и магния для этой культуры.

По мнению В.Ф. Валькова с соавторами [2004] борьба с содовым засолением при орошении переросла в проблему мирового масштаба. Если содержание токсичных щелочных солей в почве выше допустимых для плодовых

растений, почву нужно мелиорировать. Традиционным мелиорантом щелочных почв с высоким содержанием обменного натрия (солонцов и солонцеватых почв) является природный сыромолотый гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) [Ковда, 1946; Антипов-Каратаев, 1953; Новикова, 1999, 2004; Семендяева, 2005, Семендяева, Куп, 2010; Способы мелиорации…, 2011; Oster, 1982]. Его внесение способствует внедрению кальция в ППК, снижению солонцеватости, улучшению физических свойств солонцовых почв, повышает эффективность выращивания сельскохозяйственных культур. Однако применение природных материалов является дорогостоящим. Кроме того, гипс при растворении имеет нейтральную реакцию и недостаточно эффективен для нейтрализации почвенной щелочности.

В связи с этим гипс все чаще заменяется гипсосодержащими или гипсообразующими отходами промышленности, например, фосфогипсом (ФГ). Последний является отходом производства фосфорной кислоты и суперфосфата [Цюрупа, Любимова, 1983; Скуратов, 1984; Мушинский, Быкова, 2003]. Он имеет ряд преимуществ перед гипсом: обладает более высокой растворимостью и кислой реакцией [Скуратов и др., 2001; Любимова, 2007; Способы мелиорации…, 2011], а также значительным последействием до 7–10 лет [Тюльпанов, 1980; Федоткин и др., 2007]. В его состав входят соединения фосфора и микроэлементов, что дает основание рассматривать его не только как мелиорант, но и как удобрение [Oster, 1982].

Высокая эффективность ФГ доказана при мелиорации солонцов и солонцеватых почв Ставропольского края, Ростовской области, Украины, Молдавии, Казахстана, Западной Сибири, а также почв Румынии, Индии, Испании и других стран [Бондарева, 1982; Новикова, 1999; 2004; Руководство по контролю…, 2000; Скуратов и др., 2001; Мелиорация солонцовых почв, 2005; Федоткин и др., 2007; Березин и др., 2008; Эколого-рекреационный рециклинг…, 2009; Oster, 1982].

Неблагоприятным свойством этого мелиоранта является присутствие F (до 0,8 %), Sr и других тяжелых металлов [Березин, 1981; Лозановская, Луганская, 1986; Чаусова, 2006]. Однако эксперименты показали, что применение даже

высоких доз фосфогипса до 20–40 т/га, не вызывало накопления фтора в полевых культурах [Березин, Семендяева, 1980]. Н.Е. Гаврилович с соавторами [1998] установили, что в темно-каштановых почвах и черноземах F, внесенный с ФГ дозой 6–12 т/га, прочно связывался в виде труднорастворимых соединений, что снижало его миграцию и доступность растениям. Авторы считают, что экологически безопасной является норма фосфогипса не выше 10 т/га.

Для мелиорации солонцов и солонцеватых почв, а также нейтрализации щелочности в почве широко используется железный купорос (ЖК) ($FeSO_4 \cdot 7\ H_2O$) — отход лакокрасочного производства [Окультуривание…, 1984; Сравнительная эфективность…, 2001]. При внесении ЖК в почву может происходить уменьшение щелочности почвенного раствора по следующим реакциям (1–3):

$$FeSO_4 + Na_2CO_3 = FeCO_3 + Na_2SO_4, \quad (1)$$

$$FeSO_4 + 2NaHCO_3 = Fe(HCO_3)_2 + Na_2SO_4, \quad (2)$$

$$Fe(HCO_3)_2 \Rightarrow FeCO_3 + CO_2 \uparrow + H_2O. \quad (3)$$

Образовавшиеся карбонаты железа могут играть существенную роль в цементации почвы [Читчян, 1972].

ЖК — гидролитически кислая соль, при гидролизе образующая гидроокись железа и серную кислоту. Свободная H_2SO_4, вступая в реакцию с углекислыми и двууглекислыми карбонатами щелочей и щелочных земель, нейтрализует их щелочную реакцию и разлагает соли. При разложении карбонатов кальция образуется гипс, который также способен вступать в реакцию со щелочными солями и нейтрализовать их.

Установлено также, что эффект химической мелиорации заметно повышается при внесении минеральных и органических удобрений, а также при посеве многолетних трав — такие способы мелиорации называют комплексными [Панов и др., 1985; Ковалев, Барановский, 2006; Влияние компостов…, 2007; Долина и др., 2007, 2009; Дорошкевич и др., 2007; Новикова, Гаврилович, 2007; Шалашова, 2008].

Для мелиорации содовых солонцов и почв с повышенной щелочностью, в том числе в плодоносящих садах, используют также отработанные минеральные кислоты: серную, соляную, азотную [Читчян, 1972; Кулагин, 1973; Манукян, 1977; Кондратьев, 1978; Рекомендации по повышению…, 1980; Петросян, 1981, 1982; Stroehlein, 1980], электролит травления стали, терриконовую породу [Докучаева и др., 1999; Способы мелиорации…, 2011], отходы целлюлозно-бумажной промышленности — сульфитные щелоки, лигнин, лигносульфаты [Кулагин, 1973, Колесниченко и др., 1977; Докучаева, 1982], отход сахарного производства дефекат [Цуриков и др., 1980; Бондарева, 1982; Новикова, 2004], отход содового производства — известковый шлам [Никонов, 1978], отходы винокуренной промышленности [Singh, 1980], известь и лессовую породу [Гарболінський, Бойко, 1998] и другие.

В целом мелиоративный эффект достигается тем, что все эти вещества имеют кислую реакцию. Однако некоторые из них, например, минеральные кислоты, вызывают разрушение коллоидов почвы, ожоги людей и растений, коррозию металла агрегатов и транспортных средств, требуют двукратного внесения и огромных количеств воды для промывки почвы. Действие других веществ на почву еще недостаточно изучено, и используются они непосредственно в той местности, где их получают.

Таким образом, наиболее приемлемым для оптимизации условий функционирования садового агроценоза и почв, подверженных процессу ощелачивания в степном в Крыму является их мелиорация ФГ и ЖК. Целесообразность их применения в этом регионе определяется тем, что эти продукты являются отходами завода «Крымский титан» (г. Армянск) и их внесение в почву в небольших дозах будет способствовать утилизации этих отходов.

Основным способом внесения химических мелиорантов является их разбрасывание по поверхности почвы с последующим запахиванием на глубину 15–30 см и поливом в осеннее время [Бурзи, 1970; Болдырев и др., 1981; Зональные системы…, 2012]. Для глубоких солонцов Сибири и Казахстана

разработана технология внесения мелиорантов в солонцовый горизонт на глубину 16–35 см с помощью специальных приспособлений к агрегатам и плугам. Для лучшего удаления продуктов реакции проводится поверхностное внесение мелиорантов в сочетании с глубоким рыхлением и кротованием на глубину 30–40 см [Еськов, 1982; Бородин, 1983; Зборищук, Буханова, 1987; Новикова, 2004].

Анализ литературы показывает, что принципы и приемы мелиорации солонцовых почв изучены достаточно полно, однако мелиорация почв в садовом агроценозе при специфических условиях ощелачивания почв изучена недостаточно [Клименко, Иванов, 1996; Клименко, 2015]. В связи с этим нами проведены исследования по мелиорации почв, подверженных ощелачиванию, в садовых экосистемах ЖК и ФГ с целью повышения устойчивости агроценоза к неблагоприятным последствиям орошения степных автоморфных почв Крыма.

1.4. Повышение фито- и микробного разнообразия для устойчивого развития садового агроценоза

Проблемой современного садоводства является исчерпаемость природных ресурсов и сохранение равновесия в экосистеме. Размещение садовых агроэкосистем на потенциально плодородных почвах — черноземах южных и темно-каштановых почвах юга страны без внесения органических удобрений содержании междурядий сада под черным паром, орошении высокими нормами нередко ограниченно пригодными оросительными водами привело к ряду неблагоприятных экологических последствий. Одной из причин снижения плодородия почвы, в том числе содержания и запасов гумуса, является нарушение энергетического баланса вследствие отчуждения питательных элементов с урожаем, сдвига биохимических процессов, синтеза и разложения органических веществ в сторону большей минерализации из-за несовершенства и несоответствия природным условиям системы обработки почвы [Лыков, 1984; Жуков, 1991; Зезюков, 1995; Захаренко, 2000; Ермаков и др.., 2001; Еськов и др., 2001; Попова, 2005]. Все это ведет к снижению устойчивости агроценозов к стрессовым

воздействиям среды и уменьшает их продуктивность [Иванов и др., 1998]. Так, в 2012 г. урожайность плодовых и ягодных насаждений в Крыму составляла 8,4 т/га по сравнению с общеукраинской на уровне 10,3 т/га [Статистичний збірник..., 2013]. Это привело также к уменьшению валовых сборов плодово-ягодной продукции в Украине более чем вдвое по сравнению с 1990 г. и снижению качества плодов, которые обладают слабой конкурентоспособностью [Кондратенко и др., 2008].

Распахивание целинных почв, в том числе и черноземов, приводит к резкому снижению содержания органического вещества в почве. Это связано со значительным уменьшением количества поступающих в почву растительных остатков (в 2–8 раз] и усилением минерализации органического вещества почвы вследствие обработки [Егоров, 1978; Черепахина, 1979; Орлов и др., 1987; Малкина-Пых, 1995; Полупан, Ковальов, 1997; Носко, 1998, 2013; Вальков и др., 2004; Vez, 1990]. Содержание гумуса наиболее интенсивно снижается в первые 10–15 лет после распахивания почвы вследствие быстрого разложения лабильных форм органических веществ, так называемого детрита или лигногуматов, наполовину разложившихся растительных остатков [Иванова, 1996; Носко и др., 2014]. Затем процесс дегумификации замедляется за счет приближения к новому уровню стабилизации, соответствующему новым условиям. Эти условия могут способствовать либо дальнейшим потерям органического вещества из почвы, достигающим 20–30% от исходного содержания на черноземах [Иванова, 1988, Иванова, 1996; Кравчук, 2012; Носко и др., 2014], либо его стабилизации или накоплению [Оголенко, 1989; Чупрова, Евсеева, 1990; Чапко, 1994; Жамьянова, Чимитдоржиева, 1995]. Последнее возможно путем экологизации и биологизации земледелия [Кисель, 2000], которая, в частности, включает минимизацию обработки почвы [Шикула, Назаренко, 1990], введение в севообороты многолетних трав [Попова, 2005; Попова, Чернявская, 2012], сидератов, промежуточных культур, поликультур, внесение в почву органического вещества [Козак, 1993; Полупан, Ковальов, 1997] и другие приемы.

В почвах садовых агроценозов все негативные процессы, связанные с дегумификацией, имеют место. Однако они усугубляются относительно малым привносом органического вещества в почву в садовом агроценозе по сравнению с полевым [Попова, 2005; Vez, 1990], отчуждением части прироста деревьев с обрезкой, длительной монокультурой, частыми проходами техники для обработки садов, содержанием междурядий по типу черного пара. Все это приводит к преобладанию процессов минерализации органических остатков над гумификацией [Иванов и др., 1998; Бутыло, 1999; Копитко, 1999].

Гумус регулирует водный и воздушный режим, поддерживает режим питания, повышает буферную емкость и устойчивость почв к неблагоприятным условиям природного и антропогенного происхождения [Попова, 2010]. Потери гумуса в почвах под садами способствуют их уплотнению, утрате структуры, усилению эрозионных процессов [Степанова, Шабанова, 1982; Бутыло, Дончук, 1991; Козак, 1995; Копитко, 1999; Николаева, Еремина, 2005]. Все это, в конечном итоге, снижает как потенциальное, так и эффективное плодородие почв.

В связи с засушливыми условиями и недостатком оросительной воды почва в садовых экосистемах Крыма содержится по типу черного пара. Непрерывное содержание почвы под черным паром с использованием только минеральных удобрений или вообще без таковых изменяет и ухудшает агрофизические и агрохимические свойства почвы [Попова, Чернявская, 2012]. В процессе длительного парования происходят качественные изменения периферической части гумусовых кислот, а центральная (ядерная) часть становится менее устойчивой. Для ее стабилизации требуется внесение свежего органического вещества [Агроэкология, 2000; Попова, 2010].

Восстановление и повышение плодородия почвы садовых экосистемах возможно за счет внесения органических удобрений, задернения почвы или применения зеленого удобрения (сидерации) [Рубин, 1983; Кант, 1988]. Из органических удобрений на юге страны основным является навоз, которого реально не хватает. Задернение междурядий сада, которое широко применяется на Северном Кавказе [Содержание почвы…, 1982; Дорошенко, 2002; Попова, 2005,

2010; Кондратенко, 2009], в степной зоне Крыма, где даже на орошаемых землях вода нередко бывает в дефиците, не всегда эффективно. В этих условиях наиболее приемлемой системой содержания почвы в садовом агроценозе является паро-сидеральная система. Она была хорошо изучена и рекомендована для широкорядных промышленных садов Крыма в 60-е годы прошлого века [Подуфалый, 1959, 1965]. В интенсивных садах степной зоны ее применяют крайне редко, хотя положительное ее воздействие при настоящем резком снижении плодородия южных черноземов несомненно [Оружев, Семочкина, 1984; Копитко, 2001]. Однако влияние самих сидеральных культур на свойства эдафотопа, устойчивость агроэкосистемы к антропогенным воздействиям и ее продуктивность изучено в основном в молодых интенсивных насаждениях [Иванова, 1990, 1996; Василенко, 1997].

В связи с вышесказанным изучение активизации биологического потенциала в эдафотопе садовой экосистемы продуктивного возраста введением севооборота озимых сидератов с использованием орошения на южных черноземах Крыма для воспроизводства плодородия почвы, повышения устойчивости агроценоза сада, качества плодов и стабильной высокой продуктивности является весьма актуальным.

Сидераты — растения, выращиваемые с целью их последующей заделки в почву как органическое удобрение. Зелёная сочная масса растений богатая азотом, белками, крахмалом, сахарами, микроэлементами, а также корни растений — это зелёное удобрение. К культурам, высеваемым в качестве сидератов, предъявляются следующие требования: они должны быстро расти, за короткий срок вегетации (1−2 месяца) без орошения накапливать значительную биомассу; озимые сидераты должны быть морозоустойчивыми. В Крыму, на юге Украины и в сходных климатических условиях Краснодарского края, части ЦЧЗ и Молдовы рекомендован большой набор бобовых, зерновых, масличных и других сидеральных культур, а также их смесей (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Травянистые растения, используемые как сидераты в садовых агроценозах

Культура	Зона, почва	Автор, источник
1	2	3
Горох зимующий, рожь озимая, рапс озимый, вико-пшеничная смесь	Краснодарский край, черноземы выщелоченные	А.В. Бузоверов [1998], А.В. Бузоверов и др. [2004]
Донник белый, эспарцет, вика озимая, рожь; капустные: горчица сарептская, редька масличная, рапс яровой, тригонелла,	ЦЧЗ, черноземы выщелоченные	Н.И. Зезюков [1993]
Ячмень яровой	Украина, черноземы южные, темно-каштановые почвы	А.А. Василенко [1997]
Вико-овсяная смесь	Молдавия, черноземы выщелоченные	Г.К. Васкан [1983]
Рожь озимая	Украина, черноземы южные	М.К. Ольховский, П.В. Копышинский, [1978]
Рожь, ячмень озимый, горох озимый, горох укосный, горох кармазиновский гибрид, горох желтый кормовой, вика вилоза, вика паннонская, чина степная, чина Танжерская, горох люцеферовский, люцерна Берсима	Украина, Крым, черноземы южные и предгорные	Т.И. Подуфалый [1958, 1961] О.Е. Клименко [2014]
Смесь бобовых и злаков	Краснодарский край, черноземы	О.А. Черепахина [1979]
Озимые: горох, смесь тритикале и вики ежегодно и через год	степной Крым, черноземы южные	А.С. Иванова [1990]

Из бобовых культур наибольшее распространение получили горохи: зимующий и озимый, а также вики. Из зерновых — озимая рожь, озимый и яровой ячмени. Из смесей бобовых и злаковых растений чаще всего используют: вико-овсяную, вико-пшеничную, вико-тритикалиевую и другие, из крестоцветных рекомендуют рапс и горчицу. Бобовые обогащают почву азотом за счет азотфиксации, но они содержат больше влаги, быстро минерализуются (за год до 88–95% от исходного количества органического вещества [Чупрова, 1990].

Биомасса зерновых культур имеет более широкое отношение C:N. Эти культуры меньше обводнены, медленнее разлагаются в почве, но имеют больший коэффициент гумификации [Чупрова, 1995; Копитко, 1999]. Смеси бобовых и злаковых трав, наряду с большой биомассой, обогащают почву азотом и имеют наиболее сбалансированное отношение C:N.

Выводы различных исследователей по использованию сидератов в интенсивных садах достаточно противоречивы. Одни считают, что сидераты обедняют почву влагой и питательными веществами и ухудшают ее структуру [Васкан, 1984; Бузоверов и др., 2004], другие, наоборот, утверждают положительное их влияние на водный и пищевой режимы почвы [Черепахина, 1979; Кладь и др., 1992 и др.]. Одни ученые рекомендуют использование сидератов только в молодых садах [Васкан, 1984; Мельник, 1986; Василенко, 1997; Бузоверов, 1998], некоторые – что это недопустимо [Подуфалый, 1958]. Не до конца ясно, какие сидераты предпочтительнее — яровые или озимые; какие виды трав лучше использовать [Жигачев, 1966; Иванова, 1988; Копитко, 2001]. Кроме того, не все сорта яблони одинаково реагируют на выращивание сидератов. Так, по мнению А.А. Василенко [1997] ‘Голден Делишес’ увеличивал урожай плодов при сидерации, а Г.К. Васкан [1983] утверждал обратное.

На наш взгляд такие разночтения определяются различием факторов среды и зависят от свойств эдафотопа, конструкции и возраста насаждения, сорто-подвойного сочетания, агрофона конкретной садовой экосистемы. В связи с этим такие рекомендации должны быть зональными и конкретными для определенного возраста насаждений и сорто-подвойной комбинации. В зоне черноземов южных, кроме того, использование сидератов в садовых агроэкосистемах плодоносящего возраста изучено недостаточно [Иванова, 1990]. А.С. Иванова детально изучила и показала положительное воздействие озимых сидератов на свойства эдафотопа, а также рост и продуктивность молодых растений *Malus domestica* [Иванова, 1990, 1996; Иванов и др., 1998]. Нами были продолжены многолетние исследования лаборатории агроэкологии Никитского ботанического сада – Национального научного центра по повышению плодородия чернозема южного и создания

устойчивой садовой агроэкосистемы [Клименко, 2002, 2003, 2003; Клименко, Клименко 2003; Клименко, 2014].

В агроэкосистеме плодового питомника происходит значительное расходование элементов минерального питания из почвы [Майдебура и др., 1989] и интенсивное механическое воздействие. При выкопке посадочного материала до 10 т/га плодородного мелкозема отчуждается из почвы. Все это приводит к ускоренной минерализации органического вещества и удалению питательных веществ, извлекаемых саженцами из почвы и содержащихся в отчуждаемом мелкоземе [Чурагулова, 2014]. Для пополнения запаса подвижных форм питательных веществ была разработана система внесения высоких доз минеральных удобрений [Методические рекомендации по применению удобрений …, 1974; Татаринов, Зуев, 1984]. Использование такой системы удобрений на протяжении многих лет привело к негативным последствиям: загрязнению почв и самих культурных растений [Минеев, 1990], накоплению в эдафотопе большого количества остаточных труднорастворимых фосфатов [Патика и др., 1993; Носко, 2002], а также способствовало загрязнению подпочвы и грунтовых вод нитратами [Копитко, 2001]. В плантажированных южных черноземах, кроме того, из-за карбонатности и щелочной реакции почвенного раствора снижается растворимость не только фосфатов, но и нитратов [Клименко и др., 2007].

Питомниководство — одна из самых трудоемких и еще недостаточно механизированных аграрных отраслей. В результате монокультуры в агроценозе плодового питомника, отсутствия органических удобрений, полей многолетних трав и сидератов происходит обеднение микробного ценоза почвы, падает содержание органического вещества, происходит деградация почвы, вследствие этого ухудшается качество посадочного материала. Поэтому здесь особое значение приобретают разработки новых экологизированных способов сохранения плодородия почвы, повышения микробного разнообразия в агроэкосистеме плодового питомника. Интродукция в микробоценоз активных штаммов полезных микроорганизмов способствует повышению биологической

активности почвы, мутуалистических взаимоотношений ассоциативных бактерий азотфиксаторов, фосфатмобилизаторов и плодовых растений, повышению устойчивости выращиваемых саженцев к фитофагам и патогенам, усилению роста, улучшения их качества.

Микробиота, как один из непосредственных компонентов сообщества агроценоза, играет значительную роль в процессах аккумуляции и трансформации биогенных элементов, чем обеспечивает жизнедеятельность других звеньев и функционирование экосистемы в целом, синтез различных биологически активных соединений, участвует в образовании и минерализации гумуса, повышении плодородия почвы [Карягина, 1983; Харьковская, 1997; Колотилова, 2013]. В настоящее время разнообразие микробиологического сообщества почв в агроценозах резко снижается, что связано с бедностью питательного субстрата, применением средств химизации и ухудшением состояния окружающей среды [Харьковская, 1997].

В условиях недостатка органических удобрений и высокой энергоемкости их получения при стойловом содержании животных, хранения и доставки на поле, важной функцией почвы выступает способность почвенных микроорганизмов фиксировать азот из воздуха. Фиксация азота происходит с участием особого активирующего фермента — нитрогеназы, что позволяет этому процессу идти при нормальной температуре и давлении. Фиксация азота в почве проходит двумя путями: несимбиотическим и симбиотическим. Этот вид взаимоотношений растения и микроорганизма определяется как мутуализм, когда оба партнера получают пользу. Несимбиотическая азотфиксация как пример протокооперации производится свободноживущими или ассоциированными с растением микроорганизмами, которые используют для фиксации энергию, содержащуюся в органическом веществе почвы или в прижизненных выделениях автотрофов, т.е. это сапро- или эккрисотрофы [Работнов, 1979; Садыков, 1989]. В связи с этим оптимальные условия для ассоциативных азотфиксаторов (*Azotobacter, Aerobacter, Bacillus, Enterobacter, Pseudomonas, Clostridium* и др.) складываются в почвах богатых гумусом, в теплых и влажных районах. Большинство

свободноживущих азотфиксаторов по оценкам разных авторов могут дать от 5–10 до 170 кг/га в год в зависимости от вида растения и климатических условий [Шотт, 2007; Vose, 1983].

Симбиотическая азотфиксация производится микроорганизмами, живущими в симбиозе с растениями, особенно в клубеньках бобовых. Обычно это представители облигатных аэробов рода *Rhizobium,* которые строго видоспицифичны. Фиксация азота в этом случае требует больших затрат энергии растения хозяина (до 1/3 общей продукции фотосинтеза). Большими затратами органического вещества на симбиотическую азотфиксацию объясняются более низкие урожаи зернобобовых культур по сравнению со злаками. Симбиотическая азотфиксация намного продуктивнее ассоциативной, особенно в посевах многолетних трав: клевера и люцерны. Выход азота здесь может достигать 350–700 кг/га в год [Дельвич, 1972; Наумова, Минкин, 2003]. Следует отметить, что оптимальная доза внесения азотных удобрений в разных условиях и для разных культур, в том числе и плодовых, колеблется в пределах 50−200 кг/га. В настоящее время в России в почву в среднем вносится 10 кг/га азотных удобрений в действующем веществе. Следовательно, биологическая азотфиксация может во многом заменить внесение минеральных азотных удобрений, для производства которых вкладывается примерно треть всей энергии, затрачиваемой в сельскохозяйственное производство [Агроэкология, 2000]. Кроме того, экологически грязным является не только само производство удобрений, но и их использование: при внесении азотных туков на поля до 50% их вымывается в окружающую среду, вызывая ее загрязнение [Наумова, Минкин, 2003].

Известно, что генотипы имеют разную отзывчивость на инокуляцию, что определяется различной способностью растений сохранять ассоциативные связи с бактериями в зависимости от условий возделывания, а также от метаболической активности их корневой системы [Родынюк, 1991; Тихонович, Проворов, 2009]. Современные генотипы не всегда способны взаимодействовать с полезной микрофлорой, так как в процессе селекции поддерживаются наиболее благоприятные условия выращивания, что приводит к обеднению популяции по

способности полноценно развиваться за счет симбиотического или ассоциативного питания [Проворов, 2001]. Поэтому необходимо выявлять наиболее эффективные взаимодействия, а также создавать оптимальные условия для взаимодействия бактериального штамма и сорта растений [Воробейников и др., 2001].

Способность почвенных микроорганизмов в симбиозе с культурными растениями поставлять им минеральные и физиологически активные вещества широко используется в биотехнологии при выделении активных штаммов микроорганизмов из почвы, их культивировании и создании на их основе микробных препаратов (МП) [Муромцев и др., 1985; Биопрепараты в сельском хозяйстве …, 2005; Мікробні препарати…, 2006; Патика и др., 2007; Чоботар и др., 2007; Кудриш, 2010; Коломиец, 2011; Grzyb et al., 2012]. Их успешно используют в различных агроценозах при выращивании зерновых, бобовых, овощных, кормовых и других культур для поддержания высокой продуктивности агроценоза без внесения минеральных удобрений [Мельничук и др., 2002; Лабутова и др., 2003; Мікробні препарати…, 2006; Мікробіологічні аспекти…, 2007].

Фосфатмобилизующие ассоциативные бактерии способны переводить труднорастворимые фосфаты почвы в доступное для сельскохозяйственных растений состояние, стимулируют синтез ауксинов, гиббериллинов, цитокининов, улучшать рост корней, увеличивать коэффициент использования минеральных удобрений и т.д. [Чайковська, Патика, 2000; Чайковская, 2004; Мельничук, Патика, 2011].

Ростостимулирующие бактерии способны увеличивать всхожесть, стимулировать рост вегетирующих растений, улучшать качество продукции [Aslantas et al., 2007]. Некоторые микроорганизмы способны ограничивать развитие фитопатогенов и фитофагов [Патика и др., 1993; Патика, Омельянець, 2005].

Активные штаммы бактерий и грибов были исследованы и испытаны в агроэкосистеме сада яблони республики Беларусь [Рябцева, 2004; Рябцева и др.,

2005]. Установлено увеличение продуктивности деревьев яблони, средней массы плода, усиление роста однолетних побегов и улучшение качества плодов. Использование МП привело к оптимизации реакции почвы и значительно повысило содержание калия, фосфора и гумуса.

В.Ф. Павленко и М.В. Андриенко [1995] в агроэкосистемах сада и питомника яблони и ягодных культур установлено, что активные штаммы грибов родов *Penicillum, Aspergillus*, *Trichoderma* и другие способны активно переводить органические соединения азота и фосфора в доступные для растений формы, повышать растворимость фосфатов, подавлять развитие патогенной микрофлоры, бороться с почвоутомлением.

R. Aslantas с соавторами [2007] в агроценозе плодового питомника яблони в Турции (восточная Анатолия) установили положительное влияние различных ростостимулирующих ризобактерий на длину и диаметр побегов. Они объясняют это продуцированием этими бактериями ростостимулирующих веществ — индолилуксусной кислоты и цитокинина.

Что касается агроэкосистемы косточковых плодовых растений, то исследования по применению активных штаммов микроорганизмов и МП для улучшения их минерального питания и повышения микробного разнообразия эдафотопа малочисленны [Формы микробных…, 2007; Дятлова, 2001; Klymenko et al., 2010]. Особенно это касается агроценоза плодового питомника, где требуется усиленное питание растений для их быстрого роста и развития, а применение больших доз минеральных удобрений приводит к загрязнению окружающей среды [Кузнецова, Тыщенко, 2015].

Таким образом, обзор литературы показывает, что на садовые агроэкосистемы с условиях равнинного Крыма влияет ряд неблагоприятных факторов антропогенного происхождения. Это негативные процессы в атмосфере, связанные с загрязнением воздуха и подкисление осадков, которые в условиях Крыма и по влиянию на садовые экосистемы изучено недостаточно. Изменения в эдафотопе садовых экосистем степного Крыма связаны с длительным орошением, рассолением почв и их ощелачиванием. Процессы ощелачивания орошаемых

почв, масштабы, степень их проявления и воздействие на другие свойства эдафотопа и доминанты садового фитоценоза, а также способы мелиорации требуют комплексного подхода в системе эдафотоп – плодовый фитоценоз – агротехника – мелиорация.

Интенсивная система садоводства, большие вложения техногенной энергии, глубокая вспашка с оборотом пласта, уплотнение тяжелой техникой, снижение доз органических удобрений привели к дегумификации почв. Это вызвало ухудшение структурного состояния, переводу ряда элементов в труднодоступное состояние, развитие водной и ветровой эрозии, что привело к снижению устойчивости и продуктивности садовых экосистем. В Крыму мало внимания уделяется внедрению адаптивно-компромиссной системы садоводства. В связи с этим, повышение устойчивости функционирования агроэкосистем плодового сада и питомника следует рассматривать с позиций увеличения фито- и микробного биоразнообразия и подбора адаптированных сортов плодовых растений на основании оценки индикационных показателей, рационального размещения плодовых культур согласно их экологической адаптированности, а если это невозможно — мелиорации почв. Научному обоснованию оптимизации и устойчивого функционирования агроценозов плодового сада и питомника в условиях степного Крыма и будет посвящена данная работа.

РАЗДЕЛ 2
ОБЪЕКТЫ, МЕТОДЫ И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Объекты и методы проведения исследований

Объектами исследования являлись садовые агроценозы степного Крыма в сложном взаимоотношении свойств климатопа (атмосферного воздуха), эдафотопа и биоценозов плодового сада и питомника. Общий подход к решению проблемы предполагал выявление лимитирующих экологических факторов градиента условий среды, влияющих на состояние садовой экосистемы, выбор критериев оценки их влияния, оценка устойчивости тест-объектов, прогноз возможных изменений и разработка приемов минимизации или устранения негативного влияния антропогенных факторов в садовом биогеоценозе (рисунок 2.1).

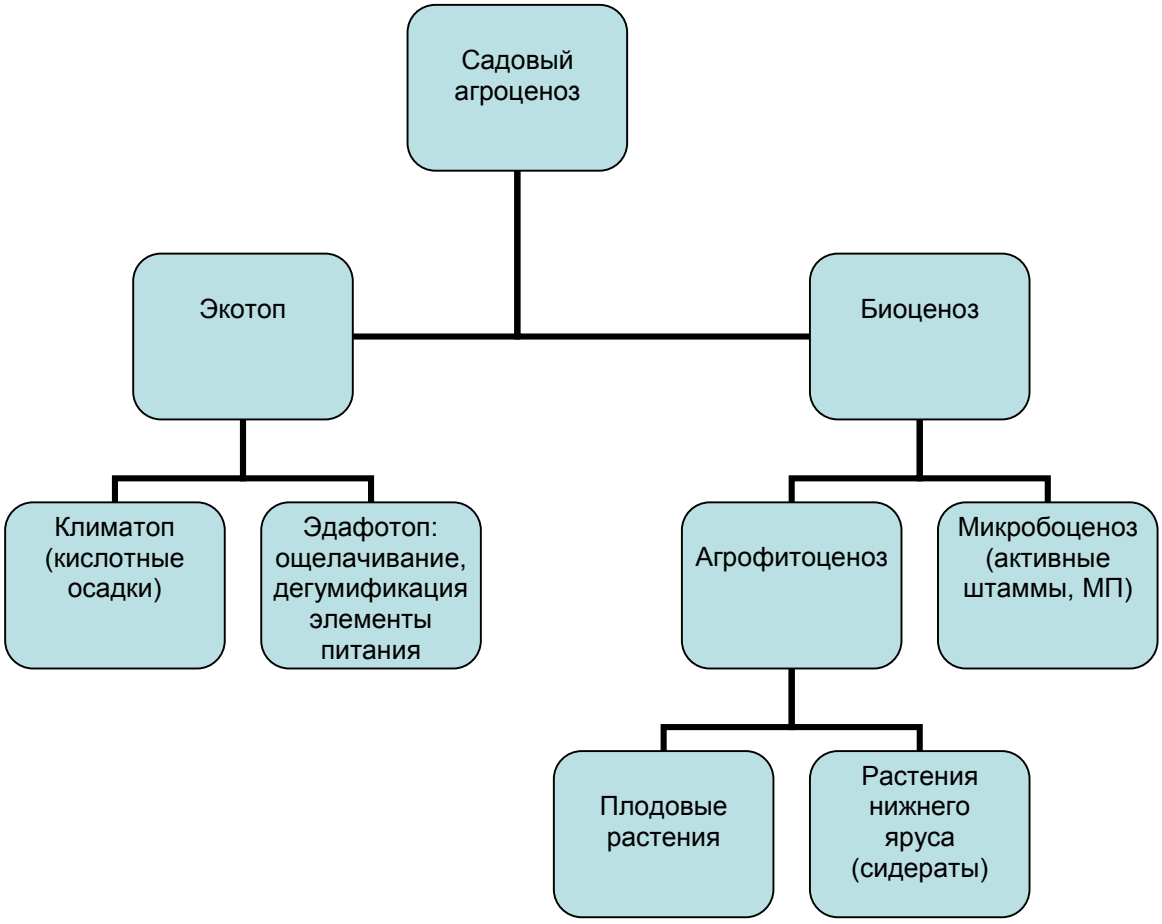

Рисунок 2.1. Изучаемые компоненты садового агроценоза

При изучении свойств эдафотопа использовали историко-географический и сравнительный профильно-генетический методы. В основу исследований взаимоотношений в системе педосфера — плодовый фитоценоз положены методы почвенно-биологических исследований П.Г. Шитта [1968], С.Ф. Неговелова [1970], В.Ф. Иванова [1986] и др. При исследовании состава химических примесей в атмосферном воздухе использовали мониторинговый метод [Щербатюк, 1985].

Для оценки влияния КО на плодовые растения применяли активный мониторинг и создание натурных моделей. Фитоиндикацию влияния абиотических факторов на тест-объекты проводили на морфологическом, физиолого-биохимическом и организменном уровне. В работе применяли полевые, вегетационные, лабораторные методы исследования почв, атмосферных осадков и состояния растений (рисунок 2.2).

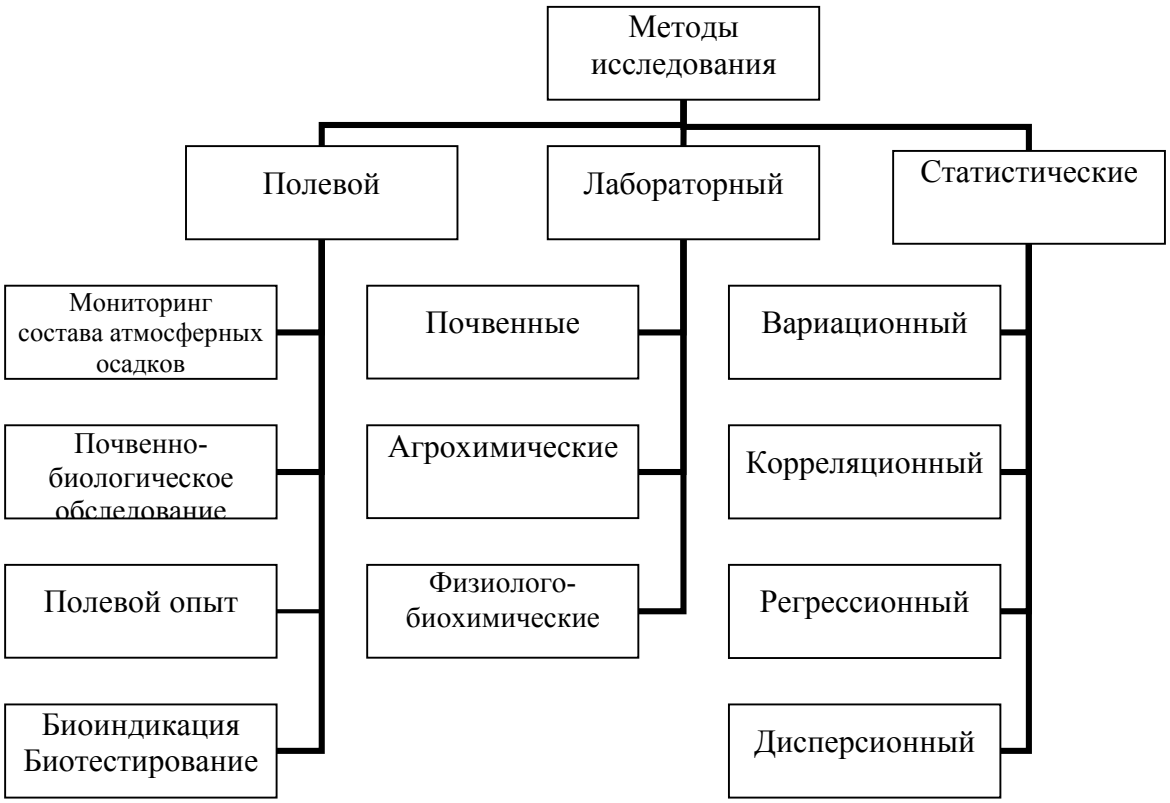

Рисунок 2.2. Методы исследования садовых агроценозов

Из лабораторных методов использовали почвенные, агрохимические и физиолого-биохимические методы. Для изучения влияния процесса ощелачивания почвы на подвижность элементов питания в почве использовали лабораторный метод.

Полученные данные подвергались статистической обработке с использованием статистических методов [Зайцев, 1984; Доспехов, 1985] и построения моделей множественной регрессии связи исследуемых параметров почв, растений и факторов среды с использованием программ Exel и Statistica.

Мониторинговые исследования химического состава атмосферных осадков (дождь, снег, град и др.) проводили с 1995 по 2008 г. после каждого их выпадения суммой 2 мм и более на открытой площадке, примыкающей к большому массиву коллекционно-селекционных и промышленных садовых агроценозов. Осадки собирали при помощи специально изготовленных полиэтиленовых сборников [Методические рекомендации …, 1985], которые помещали на металлической подставке высотой 1,2 м от поверхности почвы. Количество отобранных за год проб осадков колебалось от 14 до 52 в зависимости от годовой суммы осадков. В осадках на протяжении всего периода наблюдений определяли величину pH и концентрацию ионов NH_4^+, SO_4^{2-}, NO_3^- и Cl^-. В 2004 и 2005 гг. состав химических примесей в атмосферных осадках изучали более подробно. В эти годы в отобранных пробах осадков определяли дополнительно концентрацию ионов Na^+, K^+, Ca^{2+} Mg^{2+} и HCO_3^-.

На основании полученных исходных данных рассчитывали среднемесячные взвешенные на объем осадков и среднегодовые величины концентраций ионов. Рассчитывали также среднемесячные и среднегодовые величины pH с учетом логарифмической природы этого показателя. В связи с тем, что состав осадков в холодный (ноябрь – апрель) и теплый (май – октябрь) периоды года значительно различался, ежегодно рассчитывали средние за сезон количества примесей.

Для изучения тенденций в изменении химического состава атмосферных осадков во времени весь период наблюдений был подразделен на две части: первая — с 1995 по 2000 г., когда концентрации большинства химических

примесей были более высокими, вторая — с 2001 по 2008 г. с более низкими их концентрациями

Фитомоноторинг воздействия КО на тест-объекты проводили в СО НБС − ННЦ в 1997–2005 гг. Кислотные осадки (искусственный кислотный дождь, ИКД) моделировали добавлением H_2SO_4 и HNO_3 к дистиллированной воде, создавая растворы кислот с градиентом pH 2, 3, 4 и 5, так как это соответствовало наибольшему размаху колебаний pH кислых природных осадков [Ильницкий и др., 2010; Jacobson et al., 1986; Wilson et al., 1988; Tokuchi et al., 1992; Semerdjieva, 1993]. Исследовали также воздействие ИКД смешанного химического состава с различным соотношением кислот (серной и азотной). В пределах каждой из величин pH ИКД (2, 3 и 4) было три варианта с соотношением объемов H_2SO_4 и HNO_3: 1:1; 2:1 и 3:1, что наиболее часто встречается в атмосферных осадках [Молчанов и др. 1980]. Контроль — опрыскивание деревьев дистиллированной водой с pH близкой к 6. Растения в опыте были защищены от природных осадков каркасом из прозрачной полиэтиленовой пленки.

Тест-объекты подвергали воздействию ИКД дозой 2 мм на протяжении трех часов, один раз в месяц, в течение пяти месяцев с момента полного цветения до начала листопада. ИКД со средним размером капель 0,5 мм создавали с помощью распылителя, установленного на высоте 1,8 м над землей в центре дерева или модельной ветви. Через 3–6 дней после каждого опрыскивания, когда повреждения, если они были, максимально проявились, учитывали общее состояние растений, характер и степень повреждений на листьях, цветках и плодах.

Модельный опыт по воздействию ИКД на состояние женских генеративных органов *P. persica* проводили после кастрации бутонов по способу Сакса [Программа и методика…, 1973], одноразовой обработки цветков ИКД с различными величинами pH и их изоляции на 7 дней. После этого изоляторы снимали и подсчитывали количество живых пестиков.

Изучение степени завязывания плодов при самоопылении *P. persica* проводили на плодоносящих деревьях путем одноразовой обработки цветков ИКД с различными величинами pH и дальнейшей их изоляции для самоопыления.

Для изучения элементов антиоксидантной системы тест-объектов условия кислотного стресса (КС) моделировали путем опрыскивания ветвей первого порядка плодоносящих деревьев *P. persica* раствором H_2SO_4 с pH 2 в дозе 2 мм дождя на протяжении трех часов. Листья отбирали через три дня после обработки кислотой. Контролем служили не опрыснутые деревья.

Полевые опыты проводили согласно Программе и методике Всесоюзного НИИ им. Мичурина и ВНИИСПК [Программа и методика…, 1973, 1999] и Украинского НИИ Садоводства [Методика изучения подвоев…, 1990; Кондратенко, Бублик, 1996].

Полевые опыты по изучению воздействия ощелачивания на свойства почвы и плодовые растения, а также разработку способов мелиорации почв, подверженных ощелачиванию, проводили в южной наиболее повышенной части Присивашья на темно-каштановых слабосолонцеватых легкоглинистых почвах (агрокаштановых сегрегационных слабосолонцеватых) в бывшем колхозе «Родина» Джанкойского района (здесь и далее названия почв даны согласно «Классификации и диагностике почв СССР» [1977] без скобок; согласно «Классификации и диагностике почв России» [2004] в скобках). Почвы сформировались на лессовидных отложениях и более 20 лет орошались пресной водой Северо-Крымского канала. Плантажная вспашка проведена на глубину 60 см. Грунтовые воды на момент обследования залегали глубже 8 м, Исследования проводили сопряженным профильно-генетическим методом. На каждом участке закладывали по 5–10 скважин на расстоянии 20–25 м одна от другой и отбирали образцы по 20-ти см слоям до глубины 120 см, поскольку глубже в почве появляется гипс, который нейтрализует соду [Клименко, Иванов, 1984]. Почва содержала 2,0–2,5% гумуса, была достаточно обеспечена подвижными формами фосфора (40 мг/кг) и калия (207 мг/кг), недостаточно — нитратного азота (20 мг/кг). Сумма обменных катионов достигала 35–40 смоль(экв)/кг,

преобладающим ионом в ППК являлся Ca^{2+}. Обменный Na^{+} составлял 5% суммы поглощенных катионов. Легкорастворимые соли залегали на глубине 150–200 см, грунтовые воды — глубже 10 м от поверхности.

Таким образом, почвенные условия участка были благоприятными для размещения садовой экосистемы, если не считать низкого содержания азота, которое было одинаково низким под нормально развитыми и угнетенными деревьями, произрастающими на этом участке. По основным показателям: содержанию гумуса, мощности гумусового горизонта, глубине солевого слоя и составу нейтральных солей она вполне благоприятна для выращивания алычи [Клименко, 1992; Иванов и др., 1998].

Для оценки влияния свойств эдафотопа на плодовые культуры использовали метод сопряженных исследований «почва – плодовое растение», разработанный П.Г. Шитом [1958], в модификации В.Ф. Иванова [1986]. Модификация заключается в расширении системы с учетом климата и хозяйственной деятельности человека и предполагает рассматривать систему «климат – почва – растение – технология выращивания» [Иванов, 1986]. Для анализа данных сопряженных исследований и определения реально оптимальных и допустимых значений свойств почв В.Ф. Ивановым был разработан метод экологических площадок. Он применим в целях определения указанных значений для конкретной сорто-подвойной комбинации при определенном уровне культуры земледелия. На одном садовом массиве в бывшем колхозе «Родина» Джанкойского района Крыма подбирали участки так, чтобы иметь экологический ряд, состоящий из 10–12 деревьев в хорошем, удовлетворительном и плохом состоянии одного сорта, возраста, на одном подвое так, чтобы количество деревьев в хорошем и плохом состоянии было примерно одинаковым. Деревья разных групп различались по общему состоянию, степени прироста, урожайности, наличию хлороза и т.д. Учитывали также количество погибших деревьев каждого сорта.

Имея данные таксации, определяли общую оценку состояния деревьев одного сорта по формуле, предложенной В.Ф. Ивановым [1986]. Для этого

процент деревьев в хорошем и другом состоянии от числа посаженных умножали на их оценку в баллах. Эти произведения складывали и делили на 100. Так, например, для сорта *P. cerasifera* ‘Крымская Смуглянка’ оценка состояния деревьев выражена в баллах и подсчитана в уравнении (4):

$$\frac{(50 \times 4) + (25 \times 3) + (17 \times 2) + (8 \times 0)}{100} = 3{,}09. \quad (4)$$

Для определения масштабов и степени ощелачивания садопригодных орошаемых почв степного Крыма были обобщены результаты детальных почвенных обследований, проведенных на протяжении 17 лет в 1997–2013 гг., перед закладкой сада или при реконструкции существующих плодовых насаждений в степном Крыму (Джанкойский, Красногвардейский, Нижнегорский, Кировский и Сакский административные районы Крыма). Площадь обследования составила порядка 3000 га пахотных земель, орошаемых из Северо-Крымского канала (СКК) и рек Крыма. Это занимает более половины общей площади, занятой в настоящее время садами в степных районах Крыма [Копылов, 2014]. В исследование вошли почвы степного Крыма (степь Сухая Северо-Крымская и степь Южная Крымская), в которых происходило образование и накопление вредных щелочных солей. Большая часть изученных почв не засолена токсичными нейтральными солями и только лугово-каштановые (агрокаштановые квазиглееватые) и каштаново-луговые (агрогумусово-квазиглеевые) солонцеватые почвы на лессовидных глинах имеют слабое засоление с глубины 120–140 см (таблица А. 1).

Были обобщены данные солевого состава водных вытяжек из почв по слоям 0–50, 50–100 и 100–150 см. Содержание иона HCO_3^- во всех почвах было невысоким, порядка 0,4–0,8 смоль(экв)/кг, и не могло вызвать угнетения плодовых растений [Иванов, 1986], таблица А.1. Если в почве присутствовал ион CO_3^{2-}, рассчитывали содержание соды (Na_2CO_3). Концентрацию гидрокарбонатов натрия и магния ($Mg(HCO_3)_2 + NaHCO_3$) определяли по разности между концентрациями ионов [HCO_3^-] и [Ca^{2+}]. Рассчитана вероятность встречаемости

соды и гидрокарбонатов натрия и магния в почвах. Проанализированы также данные содержания общих карбонатов и величины pH почв и определены зависимости между этими показателями и характеристиками ощелачивания с целью установления его причин и степени в различных орошаемых почвах степного Крыма.

Величины основных параметров почвы определяли общепринятыми методами. Оптимальные и критические (предельно допустимые) показатели неблагоприятных свойств почвы устанавливали по методике В.Ф. Иванова [Иванов и др., 1998]. При этом оптимальными считают показатели свойств почв, при которых деревья имеют хороший рост, а допустимые — удовлетворительный. Урожайность в условиях, оцененных как допустимые, на 20–30% ниже, чем в оптимальных.

Полевой стационарный опыт по разработке способов химической мелиорации почв, подверженных ощелачиванию, был заложен в плодоносящем саду *P. persica* бывшего колхоза «Родина» Джанкойского района осенью 1989 г. Возраст деревьев 14 лет. Схема посадки растений 6 х 5 м. В опыт включены десять сортов *P. persica*, привитых на подвое *Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb разных сроков созревания (5–8 растений на элементарном участке). Тест-объектами наблюдений были следующие сорта: ‘Герой Севастополя’, ‘Золотой Юбилей’, ‘Кудесник’, ‘Лауреат’, ‘Маяковский’, ‘Мэйфлауэр’, ‘Пушистый Ранний’, ‘Советский’ и ‘Сочный’. В качестве мелиорантов использовали фосфогипс (ФГ) и железный купорос (ЖК) — отходы ЗАО «Крымский титан».

Опыт был заложен по следующей схеме:

1. Контроль — без внесения мелиорантов;
2. ФГ на поверхность почвы;
3. ФГ на глубину 50 см;
4. ЖК на поверхность почвы;
5. ЖК на глубину 50 см.

Мелиорирующим компонентом ФГ является гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), содержание которого в составе отхода составило 92,7%. В этом мелиоранте

содержалось 0,9% валового и 0,8% усвояемого фосфора от массы отхода, а также 0,18% водорастворимого F. Влажность мелиоранта перед внесением составила 20%. Таким образом, выбранный мелиорант вполне соответствовал ТУ 113-08-418-94.

ЖК содержал 71% основного мелиорирующего вещества ($FeSO_4 \cdot 7\ H_2O$), что соответствовало первому сорту данного мелиоранта согласно ГОСТ 2463-94. Влажность его перед закладкой опыта составила 27%.

Дозы внесения мелиорантов были рассчитаны на полную нейтрализацию вредных щелочных солей и соды, если она обнаружена в почве, для слоя 0–120 см, где размещалась основная масса корней персика. Максимальная расчетная доза мелиорантов для данной почвы и слоя 0–120 см составила 4–5 т/га. Мелиоранты вносили осенью на поверхность почвы разбрасывателем РМГ-4 на всю ширину междурядия с двух сторон ряда. Затем проводили рыхление почвы на глубину 40 см агрегатов ПУХ-2 в два следа для увеличения водопроницаемости. После этого производили вспашку на глубину 30 см и полив нормой 800 $м^3$/га.

На глубину 50 см мелиоранты вносили агрегатом для глубокого внесения удобрений на базе ПРВН-1,5 с последующей вспашкой на глубину 18–20 см и поливом нормой 800 $м^3$/га.

Учетная площадь опытной делянки составила 420 $м^2$. Агротехника общепринятая для плодоносящих садов *P. persica* с внесением минеральных удобрений. Сад орошался водой из СКК по бороздам. Оросительная норма составила 600–900 $м^3$/га.

Солевой состав водной вытяжки из почв соответствующих вариантов опыта определяли ежегодно в августе в течение четырех лет после внесения мелиорантов, чтобы проследить их последействие. В почве определяли также состав обменных катионов, подвижные формы элементов питания и валовые формы тяжелых металлов (ТМ). Методики определения элементов в почве приведены в конце главы.

Мониторинговые исследования свойств почвы в садовом агроценозе, а также биологизации содержания междурядий плодового сада проводили в

полевом стационарном опыте, заложенном в СО НБС – ННЦ на протяжении пяти лет (1993–1997 гг.) в экосистеме плодоносящей *M. domestica*. Возраст растений в момент закладки опыта составил 13 лет. Схема размещения деревьев 4 х 2 м. Формировка – свободная пальметта. Площадь учетной делянки 64 м ^{2}. Количество деревьев на учетной делянке — 7, повторность опыта четырехкратная. Почва на участке — чернозем южный (агрочернозем сегрегационный) карбонатный легкоглинистый плантажированный на красно-бурых глинах.

В период полного плодоношения садовой экосистемы вслед за паро-сидеральной системой озимых сидератов [Иванова, 1996] в связи с почвоутомлением был введен севооборот сидератов с чередованием полей в такой последовательности: озимый ячмень (*Hordeum vulgare* L.), далее ячмень, горох зимующий (*Pisum sativum* L.), далее горох, озимый рапс (*Brassica napus* L.) далее рапс, смесь озимой вики (*Vicia pannonica* Crantz), далее вика, с озимой пшеницей (*Triticum aestivum* L.), далее пшеница, и черный пар. Посев сидератов производили в октябре – ноябре после уборки урожая яблони. Сидераты высевали в середине междурядия сада полосой 2,5 м. Почву в рядах содержали под черным паром путем механических обработок.

Запахивание сидеральных культур проводили в конце мая – начале июня на глубину 18–20 см. Для лучшей заделки зеленого удобрения в почву, травы перед запахиванием прикатывали.

Сад орошаемый. Поливная норма составляла 300 м^3/га. Число поливов в летнее время колебалось от трех до четырех. Калийные и фосфорные удобрения в годы исследований не вносили. Азотные удобрения N_{70} вносили в почву только в течение первых трех лет проведения опыта в июне.

Мониторинг водного и пищевого режимов почвы проводили ежегодно в течение ротации севооборота сидератов путем отбора образцов почвы для анализа сплошной колонкой через каждые 20 см до глубины 100 см в динамике — три раза за вегетацию: в период цветения яблони и интенсивного роста сидератов (апрель), формирования плодов яблони и после запахивания сидератов (июнь) и созревания плодов яблони (август) в четырехкратной повторности.

Более полно процессы изменения почвенного плодородия, физических и химических характеристик эдафотопа в опыте изучали один раз в пять лет путем проведения исследование почвы под сидератами и на контроле, которым служил бессменный черный пар.

Метод лабораторного моделирования использовали для изучения влияния ощелачивания на подвижность элементов питания в почве. Вариантами опыта были различные дозы соды (Na_2CO_3): 0 – контроль; 0,3; 0,5; 1,0 и 2,0 смоль(экв)/кг почвы. Для этого образцы темно-каштановой (агрокаштановой сегрегационной) слабосолонцеватой почвы (слой 0–10 см) помещали в пластиковые сосуды емкостью 3 литра. Почва содержала 2,44% гумуса, не была засолена легкорастворимыми солями, среди поглощенных оснований преобладал Ca^{2+} (28,2 смоль(экв)/кг), содержание поглощенного Na^+ равнялось 1,1 смоль(экв)/кг (4,6% от суммы катионов), величина pH составляла 7,9. Отмечено среднее содержание подвижных форм элементов питания.

Соду в почву вносили в растворенном виде на поверхность сосуда и в дренажную трубку. Влажность почвы в сосудах поддерживали на оптимальном для плодовых культур уровне 75–80 % НВ путем полива дистиллированной водой. Повторность опыта четырехкратная. Через год после внесения соды из каждого сосуда отбирали по 3 образца почвы. В почве определяли состав ионов водной вытяжки и подвижные формы некоторых биофильных элементов: N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn и B. Методы определения описаны в конце главы.

В полевых мелкоделяночных опытах на тест-объектах (плодовые саженцы) изучали эффективность мутуалистических взаимоотношений активных штаммов микроорганизмов, входящих в микробные препараты (МП), и плодовых растений. Исследования проводили в питомнике СО НБС – ННЦ в 2005–2013 гг. За все годы исследования было проведено более 20 опытов с разными плодовыми породами, сортами, МП и активными штаммами микроорганизмов. Каждый опыт повторялся в течение трех двухлетних циклов выращивания.

МП и активные штаммы микроорганизмов, которые были выделены из различных почв, предоставлены сотрудниками отдела микробиологии НИИ

сельского хозяйства Крыма (НИИСХК) и лаборатории взаимоотношения микроорганизмов и культурных растений ГНУ института микробиологии НАН Беларуси, с которыми проводились совместные исследования.

В исследование были включены следующие МП:

1. Диазофит (ризоагрин) — микробный препарат на основе ассоциативного азотфиксирующего штамма *Rhizobium radiobacter* 204 (*Agrobacterium radiobacter* 204), рекомендованный для улучшения азотного питания растений. Помимо азотфиксирующей активности этот штамм обладает ростостимулирующими и биопротекторными свойствами.

2. Фосфоэнтерин (ФМБ 32-3) — на основе штамма *Enterobacter nimipressuralis* 32-3*,* который трансформирует труднорастворимые минеральные и органические соединения фосфора в доступную растениям форму, а также продуцирует физиологически активные вещества (индолилуксусную кислоту, ауксины, цитокинины и гиббереллины).

3. Биополицид (БСП) — на основе штамма – антагониста патогенной микрофлоры *Paenibacillus polymyxa* П*,* подавляющего 14 видов патогенных микромицетов, а также продуцирующего физиологически активные вещества.

4. Комплекс микробных препаратов (КМП) получают путем механического смешивания Диазофита, Фосфоэнтерина и Биополицида в равных долях. Препараты хорошо совместимы и усиливают действие друг друга.

5. Азотобактерин создан на основе штамма *Azotobacter chroococcum* 10702 — ассоциативный азотфиксатор, поставляет растениям связанный азот, обеспечивает повышение полевой всхожести и энергии прорастания семян, усиливает рост и развитие корневой системы, интенсифицирует потребление питательных веществ из почвы, повышает устойчивость растений к болезням.

Исследовали следующие штаммы микроорганизмов:

1. Фосфатмобилизующие бактерии (ФМБ) штаммы № 6 и № 7, выделенные из дерново-подзолистой почвы Беларуси.

Фосфатмобилизирующий штамм №6 (ФМБ № 6) депонирован в Белорусской коллекции непатогенных микроорганизмов Института

микробиологии НАН Беларуси 11.01.2008 г. как *Acinetobacte*r БИМ В-445 Д, по результатам молекулярно-генетической идентификации,проведенной в 30.10.2014 г. штамм принадлежит к виду *Bacillus megaterium* (98% гомологии).

Фосфатмобилизирующий штамм №7 (ФМБ № 7) депонирован в Белорусской коллекции непатогенных микроорганизмов Института микробиологии НАН Беларуси, как *Bacillus subtilis* БИМ В-443 Д.

2. **Арбускулярно-микоризные грибы** (АМГ), инфицирующие корневую систему *P. dulcis* в черноземе южном (Крым).

3. Ассоциативный диазотроф группы азота (АД № 10), выделенный из ризосферы ×*Triticosecale* Wittm., Camus (Минская область, Беларусь).

МП изготовлены в жидкой и гельной формах с титром бактерий $7–10 \cdot 10^9$ КОЕ/см^3. Жидкий препарат содержал остатки культуральной среды, живые микроорганизмы и их метаболиты. Гельный препарат был вязким за счет интенсивной экскреции бактериями собственных экзополисахаридов.

Бактериальные суспензии ФМБ готовили на жидком мясо-сусло-агаре [Сэги, 1983], ассоциативного диазотрофа — на среде Эшби [Методы почвенной микробиологии …, 1991]. Семена (косточки) миндаля, абрикоса и алычи перед посевом обрабатывали суспензиями микробных препаратов ($7–9 \cdot 10^9$ КОЕ/см^3) и активных штаммов ФМБ № 6 ($5{,}8 \cdot 10^{10}$ КОЕ/см^3) и ФМБ № 7 ($5{,}8 \cdot 10^{10}$ КОЕ/см^3) согласно разработанному нами и защищенному патентом способу при соотношении исходного препарата и воды 1:100 [Патент 19961]. Количество рабочей суспензии (бакового раствора) составляло 2% от массы семян, что позволяло получить инокуляционную нагрузку на одно семя 10^5 клеток микроорганизмов. Семена рассыпали тонким слоем на пленке или брезенте и обрабатывали их разведенной суспензией из опрыскивателя, тщательно перемешивая, до полного смачивания.

Корневую систему сеянцев *Cerasus mahaleb* (L.) Mill. перед посадкой дражировали пастообразной почвенной болтушкой, полученной смешиванием 100 мл исходной суспенщии МП или культуральной жидкости штаммов ФМБ № 6 и ФМБ № 7, 200 г почвы и 1000 мл воды [Майдебура и др., 1989; Пат. 19961].

Диазотрофом АД № 10 обрабатывали ризосферную почву во втором поле привитых саженцев *P. persica.* Рабочий раствором, готовили из бактериальной суспензии с титром клеток $1{,}9 \cdot 10^9$ КОЕ/ $см^3$ путем ее разбавления в 500 раз водопроводной водой (200 мл на 100 л воды).

АМГ размножали и сохраняли в двухчленной горшечной культуре с микотрофным многолетником *Plectrantus australis* Hort. Использовали почвенно-корневой инокулюм, содержащий мицелий, споры, арбускулы и везикулы, с интенсивностью инфицирования корней плектрантуса 85%. Размноженные и сохраненные в корнях *P. australis* АМГ в виде корневого инокулюма высушивали на открытом воздухе. Затем корни измельчали, перетирали пестиком в фарфоровой ступке до порошкообразного состояния, смешивали со стерильным почвенным субстратом и вносили в борозды при посеве семян по 1 г на каждое семя.

Размещение вариантов рендомизированное в пределах ряда питомника. Схема посадки растений *P. persica* и *C. mahaleb* 0,7 х 0,15 м, *P. cerasifera* и *P. armeniaca* — 0,7 х 0,1 м. Количество растений на элементарном участке колебалось от 15 до 40 в зависимости от всхожести семян и приживаемости сеянцев.

У тест-объектов фиксировали всхожесть семян, рост, развитие, минеральное питание и продуктивность (выход и качество саженцев). В почве определяли содержание гумуса и подвижных форм элементов питания. Агротехника — общепринятая в плодовых питомниках на черноземах южных [Татаринов, Зуев, 1984]. Питомник орошаемый. Влажность почвы поддерживали на уровне 75–80% НВ. Перед посадкой сеянцев или посевом семян минеральные удобрения не вносили. Во втором поле питомника во время активного роста саженцев во всех опытах проводили подкормку саженцев минеральным азотом $N_{50–70}$ в зависимости от фактического содержания нитратного азота в почве.

Ассоциативные микроорганизмы являются сапрофитами и для своей жизнедеятельности нуждаются в источнике углерода, которым являются органические вещества, выделяемые растениями и свежие органические остатки

из почвы, навоз, солома и др. [Емцев, Мишустин, 2006]. При малом содержании органического вещества микроорганизмы начинают разлагать гумус и обедняют им почву. В связи с этим, при выращивании *P. persica* и *C. avium* проводили предпосевное внесение навоза (20 т/га) для пополнения запаса питательных веществ и обеспечения микроорганизмов органическим веществом и азотом (опыт 1). В отдельных опытах изучали воздействие соломы как альтернативного источника органического вещества в дозе (3 т/га + N_{30}) на рост саженцев и содержание элементов питания в почве при интродукции полезных бактерий в ризосферу плодовых саженцев (опыт 2).

Тест-объектами были выбраны плодоносящие деревья и саженцы *Prunus persica* (L.) Batsch, синоним *Persica vulgaris* Mill., привитые на *P. dulcis* (Mill.) D.A. Webb, синоним *Amygdalus communis* L.; *Prunus armeniaca* L., синоним *Armeniaca vulgaris* Lam., привитые на *Prunus armeniaca* L.; *Prunus cerasifera* Ehrh. и *Prunus domestica* L., привитые на *Prunus cerasifera* Ehrh.; *Cerasus avium* (L.) Moench на подвое *C. mahaleb*, а также плодоносящие растения *Malus domestica* Borkh. на подвоях М. 5, М. 9, ММ. 106 и ‘Сары Синап’. Возраст молодых деревьев 2–5 лет, плодоносящих — 9–16 лет.

При фитомониторинге воздействия КО на тест-объекты каждой плодовой культуры подбирали сорта, различающиеся по срокам созревания, происхождению, содержанию АК в плодах, имеющие разную адаптивность к кислотным осадкам [Тарабрин и др., 1986; Клименко, Клименко, 1999], заболеваниям и морозам [Горина 1997; Помология, 1997, 2004], засолению и другим неблагоприятным экологическим факторам.

Всего в исследование было включено 55 сортов плодовых растений. Для *P. persica* это 20 сортов: ‘Мэйфлауэр’, ‘Пушистый Ранний’ и ‘Фаворита Моретти’ (ранние), ‘Небесный Тихоход’, ‘Ореховый’, ‘Сочный’ (ранне-средние), ‘Беби Голд’, ‘Герой Севастополя’, ‘Докторский’, ‘Золотой Юбилей’, ‘Кандидатский’, ‘Кудесник’, ‘Лауреат’, ‘Маяковский’, ‘Редхавен’, ‘Остряковский Белый’, ‘Советский’, ‘Стенфорд’ (средние), ‘Ак-Шефталю’ и ‘Успех’ (поздние).

Для *Prunus armeniaca* было выбрано 10 сортов: ‘Приусадебный’, ‘Старк Ранний Оранжевый’ (ранние), ‘Еревани’ (ранне-средний), ‘Крымский Медунец’, ‘Олимп’, ‘Табу’, ‘Хендерсон’, ‘Выносливый’, ‘Костинский’ (средние), ‘Крымский Амур’ (средне-поздний); для *Prunus cerasifera* — 11 сортов: ‘Субхи Ранняя’, ‘Кизилташская Ранняя’ (ранние), ‘Амазонка’, ‘Васильевская 41’, ‘Крымская Смуглянка’, ‘Никитская Желтая’, ‘Обильная’, ‘Оленька’, ‘Пионерка’ (средние), ‘Десертная’ и ‘Люша Крупная’ (средне-поздние); для *P. domestica* — 6 сортов: ‘Гилберт’ (ранняя), ‘Кабардинская Ранняя’ (средне-ранняя), ‘Калифорнийская’ (третья декада августа), ‘Блюфри’ (середина сентября), ‘Ренклод Альтана’ (средняя) и ‘Стенлей’ (поздняя). В исследование входили также 6 сортов *Malus domestica* раннего и позднего сроков созревания: ‘Аврора Крымская’, ‘Голден Делишес’, ‘Кинг Дэвид’, ‘Крымское Зимнее’, ‘Мелба’, ‘Ренет Симиренко’ и два сорта *Cerasus avium*: ‘Валерий Чкалов’ (ранняя) и ‘Крупноплодная’ (средняя).

Повторность полевых, вегетационных и лабораторных опытов трех – пятикратная. В полевых опытах делянки размещены методом рендомизированных повторений.

Для обработки экспериментальных данных применяли методы математической статистики: корреляционного, регрессионного и факторного анализов с использованием программ Excel и ANOVA Statistica 07. При обработке данных мониторинга химического состава атмосферных осадков использовали статистический метод Mann-Kendall Test [Gilbert, 1987]. Достоверным принят 5% уровень значимости.

В полевых исследованиях с плодовыми растениями и растениями нижнего яруса (сидераты) проводили следующие учеты и наблюдения:

- состояние деревьев оценивалось по 4-х балльной шкале [Иванов, 1986]: 4 балла – хорошее: без видимых признаков угнетения; 3 – удовлетворительное, когда происходило замедление роста, проявлялась суховершинность, хлороз, мелколистность и др.; 2 – плохое, при котором погибали скелетные ветви, рост практически прекращался, отмечался хлороз и опадение листьев, проявлялись симптомы недостаточности элементов на листьях и т.д.

- биометрические показатели: общий прирост однолетних побегов, число побегов, учеты всхожести семян, динамики роста сеянцев и саженцев, сортности и состояния саженцев плодовых растений проводили согласно [Методика изучения подвоев…, 1990; Кондратенко, Бублик, 1996];
- площадь листовой пластинки и повреждений на ней определяли планиметром в пробе из 100 листьев;
- процент листьев с повреждениями на каждом дереве (или модельной ветви) учитывали визуально;
- диаметр штамба саженцев измеряли штангенциркулем на высоте 10 см от места прививки в двух направлениях (со стороны ряда и междурядия) и вычисляли среднее значение;
- окружность штамба плодового дерева измеряли мерной лентой на высоте 20 см от поверхности почвы;
- число цветковых почек подсчитывали перед цветением на дереве или модельной ветви;
- число завязей учитывали через месяц после цветения на дереве или модельной ветви и выражали их в процентах от числа цветков;
- урожай учитывали подеревно (или на модельной ветви) путем подсчета и взвешивания всех плодов;
- среднюю массу плода определяли взвешиванием 100 плодов в трехкратной повторности;
- завязывание плодов при самоопылении по [Программа и методика сортоизучения плодовых…, 1973, 1999];
- биомассу сидератов (целые растения, выкопанные из почвы с корнями) учитывали методом пробных площадок в трехкратной повторности;

Лабораторные анализы **почвы** выполняли по следующим методикам:

- pH водной суспензии потенциометрически по ГОСТ 26423-85;
- солевой состав водной вытяжки по ГОСТ 26424-85 – 26428-85;

• состав обменных катионов по Пфефферу в модификации Молодцова, Игнатовой [Руководство по лабораторным методам…, 1990];

• нитратный азот потенциометрически [ГОСТ 26951-86];

• подвижный фосфора и обменный калий по Мачигину [ГОСТ 26205-91];

• содержание карбонатов газоволюметрическим методом [ДСТУ ISO 10693-2001];

• Fe и Mn, экстрагируемые 0,1 н раствором H_2SO_4, фотометрическим методом; бор водорастворимый – с азометином [Александрова, Найденова, 1986];

• содержание валовых форм тяжелых металлов в почве и мелиорантах – методом атомно-абсорбционной спектрометрии [Самохвалов, Чеботарева, 1977];

• содержание органического вещества — методом Тюрина в модификации Симакова, Цыпленкова [ГОСТ 26213-91];

• фракционный состав гумуса — методом Тюрина в модификации Пономаревой, Плотниковой [Практикум по агрохимии …, 2001];

• плотность сложения почвы — буровым методом, структурный анализ по Саввинову, полевую влажность почвы — термостатно-весовым методом [Вадюнина, Корчагина, 1986].

В атмосферных осадках определяли:

• величину pH и концентрацию иона NH_4^+ потенциометрически: pH — со стеклянным электродом, NH_4^+ — с мембранным электродом ЭМ–NH_4^+–01 на иономере ЭВ–74;

• концентрацию ионов SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-, HCO_3^-, Ca^{2+} и Mg^{2+} — химическими методами [Методические рекомендации по сбору и анализу…,1985], Na^+ и K^+ — на пламенном фотометре;

В плодах определяли:

• сухие растворимые вещества рефрактометром [ГОСТ 28562-90], сахара по Бертрану, кислотность титрованием 0,1 н раствором щелочи, витамин С — с индикатором 2,6-дихлорфенолиндофенолом [Методы биохимического…, 1987].

Для изучения минерального питания растений листья отбирали в конце периода интенсивного роста побегов методом Х. Чепмена [1964]. В листьях плодовых культур и травах сидератов определяли:

- содержание золы, азота и зольных элементов после сухого (в муфеле) и мокрого (смесью серной и хлорной кислот) озоления по К.Е. Гинзбург, Г.М. Щегловой, Е.В. Вульфиус [1963],
- уровни содержания элементов питания в листьях оценивали по шкале, разработанной В.В. Церлинг [1990].

Для оценки относительной устойчивости сортов к КО отбирали молодые растущие листья с верхушек однолетних побегов в фазу окончания их интенсивного роста. В гомогенате из листьев определяли:

- содержание аскорбиновой кислоты (АК), восстановленного глутатиона (ВГТ) и общую редуцирующую активность (ОРА) ткани методом Петта в модификации Прокошева [Практикум по физиологии растений…, 1972].

2.2. Условия проведения исследований

Регион исследований располагается на территории равнинного Крыма и приурочен к Центрально-Крымской равнине и южной повышенной части Северо-Крымской (Присивашской) низменности [Подгородецкий, 1988; Современные ландшафты…, 2009]. Он охватывает Красногвардейский, Нижнегорский, Кировский, Сакский, южную часть Джанкойского и северную часть Симферопольского административных районов Республики Крым.

Рельеф. Рельеф региона характеризуется равнинностью и очень слабой дренированностью территории. Для Присивашской низменности с уровнем абсолютных высот 0–20–30 м над уровнем моря характерно наличие плоских со слабым уклоном водораздельных пространств с широкими и очень плоскими балками [Современные ландшафты…, 2009]. На фоне выравненности макрорельефа довольно хорошо выражен микрорельеф, что определяет комплексность почвенного покрова [Половицкий, Гусев, 1987].

Для Центрально-Крымской возвышенной пологоволнистой равнины характерна однообразная, почти плоская поверхность, расчлененная неглубокими, очень широкими балками. Юго-восточную часть равнины разрезают широкие долины рек Салгир, Индол, Восточный Булганак и др. [Современные ландшафты…, 2009]

Климат. Согласно агроклиматическому районированию Крыма [Важов, 1977; Климатический атлас Крыма, 2000] территория относится к Северному Присивашскому и Центральному равнинно-степному агроклиматическим районам. Северный Присивашский район характеризуется очень засушливым климатом с умеренно-мягкой зимой. Климат Центрального равнинно-степного района отнесен к засушливому с умеренно жарким вегетационным периодом и мягкой зимой. Для обоих районов характерна неустойчивая зима со значительными колебаниями температур, обусловливающими отсутствие устойчивого снежного покрова, общая продолжительность которого составляет 30–38 дней. Регион отличается наиболее суровыми зимними условиями в Крыму для перезимовки плодовых культур. Среднегодовая температура воздуха составляет 10,0−10,1°. Средняя температура января (самого холодного месяца) колеблется от –2,2° в Присивашье до –1,7° в Центральном равнинно-степном районе, июля (самого теплого) — 22,5–23,0°. Средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха составляет –19…–23° и отмечается в 50% зим. Абсолютный минимум в северном Присивашском составляет –29…–31°, в центральном равнинно-степном районе может снижаться до –31…–37° [Ароклиматический справочник…, 1959]. Повреждения плодовых почек косточковых плодовых культур морозами ниже –20° возможны в 35–55% зим, древесины — 1 раз в 8 лет [Абрикос, 1989; Опанасенко и др., 2015].

Пора осенних заморозков наступает в среднем 22 октября, что на два дня раньше прекращения активной вегетации растений. Последние весенние заморозки в среднем прекращаются 11 апреля. Самые поздние заморозки отмечены в начале мая, а в конце апреля они возможны один раз в четыре года. В

целом первые осенние и весенние заморозки в 50% лет отмечены в период вегетации растений.

Степень повреждения генеративных органов зависит как от степени снижения температуры и экспозиции отрицательной температуры, так и от периода развития органов плодоношения плодовых растений. Так в 1971 году четырехдневные заморозки интенсивностью –2…–4°, наблюдавшиеся 18–21 апреля, вызвали в садах СО НБС – ННЦ полную гибель цветков абрикоса, алычи, персика, черешни и миндаля. То же произошло 7–8 мая 1999 года уже при –0,6° [Антюфеев и др., 2002]. Продолжительность безморозного периода 184 дня, вегетационный период — 182 дня.

Максимальная температура воздуха в большинстве лет поднимается до 29–30°, в отдельные годы до 38–40° [Методически рекомендации ..., 1986]. В СО НБС – ННЦ средний из абсолютных максимумов температуры воздуха составляет 26–28°, абсолютный максимум — 39°. Сумма температур выше 10° в среднем по региону составляет 3280°, в СО НБС – ННЦ — 3308°, выше 15° — 2390° С, в СО НБС – ННЦ — 2744°, что по количеству тепла позволяет выращивать большинство плодовых культур.

В Присивашье выпадает 325–375 мм осадков (на теплый период приходится 185–225 мм), в Центральном равнинно-степном районе их сумма составляет 435 мм (в СО НБС – ННЦ 481 мм) из них в вегетационный период выпадает 250 мм. Годовая величина испаряемости составляет 829–865 мм. Индекс годового увлажнения (по Селянинову) для региона колеблется в пределах 0,44–0,48. Поэтому вегетационный период можно считать засушливым. Следовательно, промышленное садоводство в этой зоне возможно только при искусственном орошении [Абрикос, 1989].

К неблагоприятным климатическим явлениям для плодовых культур относятся туманы, максимум которых приходится на период декабрь-март (8–12 дней в месяц). В апреле, когда цветут плодовые культуры, в среднем за месяц бывает 6 дней с туманом, в отдельные годы до 9–11 дней, что приводит к частичной потере урожая, особенно у растений *P. armeniaca*.

Таким образом, неблагоприятными для выращивания плодовых культур в данном регионе являются низкие зимние температуры, ранневесенние и

поздневесенние заморозки, туманы в период цветения и засухи в летний период. Многолетнее сортоизучение плодовых культур показывает, что природные условия позволяют здесь успешно выращивать семечковые культуры, особенно яблоню, а отдельные годы неблагоприятны для косточковых, особенно для *P. persica* и *P. armeniaca* [Абрикос, 1989]. По данным биолого-климатических исследований, проведенных Н.Е. Опанасенко с соавторами [2015], Северный Присивашский агроклиматический район по морозоопасности пригоден при условии орошения для большинства плодовых культур, включая такие слабоустойчивые как *P. persica* и *P. armeniaca*. Центральный равнинно-степной район по морозоопасности пригоден для выращивания черешни, алычи, яблони, груши и сливы также при условии орошения. В целом за годы исследований среднегодовые температуры воздуха колебались от 9,5 до 12,5^{o} [Антюфеев и др., 2002]. Наиболее холодными были 1992, 1993, 1996 и 2011 гг. (таблица 2.1). Следует отметить, что в первые 14 лет исследований среднегодовая температура воздуха была ниже нормы в 43% лет, тогда как в последние 10 лет — всего в 20%. Средняя за годы исследований температура воздуха оказалась на 0,5^{o} выше нормы, что отражает общую тенденцию потепления климата, особенно стремительную в последние годы [Рябов, 2011].Тем не менее, частота встречаемости низких зимних температур ниже −20^{o} в последние годы стала выше и абсолютные значения их увеличивались, что чаще приводит к снижению или полной потере урожая плодовых культур.

Суммы осадков за годы исследований изменялись в широких пределах от 243 (2012 г.) до 790 мм (2007 г.), однако средняя многолетняя сумма осадков за период исследований была лишь незначительно выше нормы. В первые 13 лет исследований (1990–2002 гг.) средняя сумма осадков за год составила 482 мм, за последние 10 лет снизилась до 440 мм, что говорит о засушливости этого периода и возможном неблагоприятном влиянии этого явления на состояние автотрофного элемента садовой экосистемы.

За вегетационный период сумма осадков в среднем за период исследований была выше нормы, однако варьирование этой величины было высоким (53%). В отдельные годы (1996, 1997, 2002, 2004) она достигала 400–500 мм, а в 1990, 1993,

1994, 2008 и 2012 гг. снижалась до 99–175 мм, что составляло всего 40–70% нормы.

Таблица 2.1 – Характеристика погодных условий в годы проведения исследований, СО НБС ННЦ [Антюфеев и др., 2002)

Годы	Температура воздуха, °С			Сумма осадков, мм			
	Средне-годовая	Отклонение от нормы	Абсолютный минимум	за год	за вегетаци-онный период	Отклонение от нормы	
						за год	за вегетац. период
1990	11,2	0,7	−15,4	328	175	−153	−75
1991	10,2	−0,3	−20,2	529	388	48	−202
1992	9,9	−0,6	−16,4	459	214	−22	−36
1993	9,5	−1,0	−14,4	272	158	−209	−92
1994	11,2	0,7	−19,4	305	145	−176	−105
1995	10,2	−0,3	−11,4	536	354	55	104
1996	9,8	−0,7	−15,3	567	467	86	217
1997	11,0	0,5	−15,7	790	501	309	251
1998	11,9	1,4	−12,8	473	264	−8	14
1999	11,0	0,5	−13,3	550	320	69	70
2000	11,3	0,8	−15,1	392	264	−89	14
2001	11,4	0,9	−10,5	510	339	29	89
2002	11,4	0,9	−23,1	517	404	36	154
2003	10,0	−0,5	−16,6	513	336	32	86
2004	11,1	0,6	−14,5	635	459	154	209
2005	11,5	1,0	−16,2	537	229	56	−21
2006	10,7	0,2	−25,6	454	309	−27	59
2007	11,6	1,1	−19,1	458	184	−23	−66
2008	11,4	0,9	−16,9	317	152	−164	−98
2009	11,9	1,4	−16,0	380	211	−101	−39
2010	12,5	2,0	−21,1	530	205	49	−45
2011	9,9	−0,6	−14,4	385	251	−96	1
2012	12,1	1,6	−23,6	243	99	−238	−151
2013	11,4	0,9	−10,1	452	298	−29	48
Среднее	11,0	-	-	464	280	-	-
Норма* (мин)	10,5	-	−24,6	481	250	-	-

* Средние многолетние значения показателей и абсолютный минимум температуры воздуха приведены по данным метеостанции СО НБС – ННЦ [Антюфеев и др., 2002].

Следует выделить два засушливых периода, которые продолжались с 1990 по 1994 и с 2007 по 2012 гг., когда практически ежегодно в период вегетации суммы осадков были намного ниже среднего многолетнего значения. На фоне увеличения температур летнего периода, это приводило к продолжительным засухам, особенно в период апрель – июнь, когда происходило формирование плодов [Рябов, 2011].

В годы исследований температуры апреля и мая имели заметную тенденцию к снижению [Рябов, 2011]. Это привело к увеличению частоты весенних заморозков, их интенсивности и сдвигу на более поздние сроки. Так последние весенние заморозки в период исследований наблюдались в конце марта – начале мая. В последние 10 лет их проявление сместилось, в основном, на конец апреля – начало мая, температура их колебалась от −0,1^{o} 8 мая 2008 г. до –2,1^{o} 24 апреля 2005 г. Иногда температура воздуха в период заморозков была очень низкой. Так 4 апреля 2004 г. она снизилась до –10,4^{o}, что привело к полной потере урожая всех косточковых культур, выращиваемых в регионе. Понижение температуры воздуха ниже 0^{o} в период, когда большинство косточковых плодовых культур находятся в фазе полного цветения, а иногда и формирования плодов, может привести к значительным повреждениям, а часто и к полной потере урожая.

Таким образом, длинный ряд наблюдений погодных условий региона исследований позволяет проследить развитие агроценозов сада и плодового питомника, а также активизацию биологических процессов в агроценозах в контрастные по метеорологическим параметрам годы.

Природная растительность равнинного района представлена степными экосистемами. В южной части Присивашской низменности преобладают полынно-житняковые и полынно-типчаковые сообщества [Половицкий, Гусев, 1987]. На плакорных равнинах Центрально-степного района преобладают «реликтовые типчаково-ковыльные и разнотравно-типчаково-ковыльные степи в сочетании с крупными участками полусубтропических фриганоидных и кустарниковых степей. Наиболее распространены волосатиково-ковыльная и

лессингиано-ковыльная формации. Кроме тырсы, ковыля Лессинга и украинского (*Stipa ucrainica*), в этих формациях определенную роль играют типчак, келерия, зерна береговая, житняк ширококолосый, из разнотравья — шалфей поникший, зопник колючий (*Phlomis pungens*), льнянка понтийская (*Linaria pontica*), тысячелистник (*Achillea pannanica*) и другие» [Современные ландшафты…2009, с. 299−300]. «По днищам широких балок и в долинах рек распространены луговые степи и остепненные луга с господством пырея ползучего, овсяницы луговой, мятлика лугового и мезофитного и ксерофитного разнотравья» [Современные ландшафты…2009, с. 301]. В настоящее время территория равнинного Крыма почти повсеместно распахана.

Почвы. Почвы северной части региона исследований представлены пахотными темно-каштановыми (агрокаштановые сегрегационные), лугово-каштановыми (агрокаштановые сегрегационные квазиглееватые) и каштаново-луговыми (агроземы сегрегационные квазиглеевые) в разной степени солонцеватыми почвами. Эти почвы распространены в зоне сухой степи в наиболее повышенной южной части Присивашской низменности. Сформировались они под типчаково-ковыльными и полынно-злаковыми степями.

Основными почвообразующими породами для данных почв являются эолово-деллювиальные лессовидные отложения. Это желто-бурые тяжелые суглинки и легкие глины. Они характеризуются гипсоносностью и карбонатностью. Содержание карбонатов в этих отложениях достигает 10–17%, гипс распределен в толще отложений неравномерно и образует ярусные скопления на разной глубине. Первый от поверхности максимум скопления легкорастворимых солей находится на глубине 100–150 см и зависит от уровня залегания грунтовых вод и степени солонцеватости почвы. Содержание легкорастворимых солей в нем достигает 0,7–1,7% [Клименко, Иванов, 1984; Половицкий, Гусев, 1987; Клименко, 1988].

Темно-каштановые слабосолонцеватые почвы занимают площадь 11 тыс. га, что составляет 0,6% площади Крыма [Половицкий, Гусев, 1987]. Эти почвы характеризуются четкой дифференциацией профиля по элювиально-

иллювиальному типу. Мощность гумусового (пахотного) горизонта (PU) 20–30 см, верхнего переходного (AU) и нижнего переходного (AUb) горизонтов составляет 50–65 см. Содержание гумуса в верхнем горизонте составляет 2,1–2,9 %, с глубиной уменьшается довольно постепенно. На весьма значительных площадях Крыма темно-каштановые почвы плантажированы (турбированы) и содержат гумуса в пахотном слое на 10–30% меньше, чем их естественные аналоги. Запасы гумуса в слое 0–50 см на этих почвах составляют 150 т/га, в слое 0 – 100 см нередко достигает 200–220 т/га [Половицкий, Гусев, 1987]. Количество общего азота в гумусовом горизонте достигает 0,22–0,23%, гидролизуемого азота — 50–100 мг/кг почвы, что свидетельствует об их высокой обеспеченности подвижным азотом. Содержание обменного калия в гумусовом горизонте составляет 543–673 мг/кг, подвижного фосфора — 20 мг.

Реакция почвенного раствора в гумусовом горизонте нейтральная или слабощелочная ($pH_{водн}$ 6,8–7,8), в иллювиальном горизонте — слабощелочная, в иллювиально-карбонатном — щелочная ($pH_{водн}$ 7,9–8,2). На глубине может становится среднещелочной — 8,4–8,5.

Верхние горизонты выщелочены от карбонатов, в плантажированных разностях нередко карбонаты обнаруживаются с поверхности.

Темно-каштановые почвы выщелочены от легкорастворимых солей на глубину 150–200, местами до 125–140 см. Сумма солей в опресненном слое колеблется от 0,03–0,20%. Количество хлоридов составляет 0,003–0,010%, а сульфаты почти отсутствуют. В горизонте современного и остаточного засоления содержание солей резко увеличивается до 1,48–1,70%. В составе солей преобладают сульфаты. Количество хлоридов в гипсоносных горизонтах колеблется в пределах 0,003–0,093%.

Несмотря на слабую солонцеватость для этих почв характерно некоторое перераспределение коллоидных частиц по профилю. Гранулометрический состав почв легкоглинистый пылевато-иловатый или иловато-пылеватый.

Грунтовые воды залегают на глубине более 8 м от поверхности и не оказывают влияние на процесс почвообразования.

В исследование масштабов и степени ощелачивания орошаемых почв степного Крыма, были включены почвы:

- черноземы южные обычные (агрочерноземы сегрегационные), мицелярно-карбонатные (агрочерноземы миграционно-сегрегационные) и слабосолонцеватые на лессовидных отложениях; черноземы южные были представлены как неплантажированными, так и плантажированными (турбированными) разностями, что позволило, как и в других почвах, проследить влияние плантажной вспашки на процесс накопления щелочных солей в орошаемых почвах. Черноземы занимали около 70% площади обследованных почв;

- лугово-черноземные карбонатные плантажированные (агрочерноземы сегрегационные квазиглееватые турбированные) почвы на суглинистых на древнем глинистом аллювии и лессовидных отложениях, которые были обследованы в связи с реконструкцией старых плодовых насаждений в долинах рек Большая и Малая Карасевки и Салгир с уровнем грунтовых вод (УГВ) 3–8 м. Неплантажированные разности лугово-черноземных карбонатных почв (агрочерноземов сегрегационных квазиглееватых) на лессовидных отложениях также включены в исследование. Лугово-черноземные почвы считаются наиболее плодородными в Крыму, широко используются в садоводстве и занимают 22,3% обследованной площади;

- черноземно-луговые (агрогумусово-квазиглеевые) слабо-солонцеватые почвы на лессовидных отложениях (УГВ 2–3 м) занимали небольшую площадь обследованной территории (1,6%) и были представлены как неплантажированными так и плантажированными разновидностями;

- лугово-каштановые (агрокаштановые сегрегационные квазиглееватые) глубокосолончаковатые почвы на лессовидных глинах (3,2% площади обследования), а также их остаточносолонцеватые плантажированные разности (УГВ 3–8 м).

- каштаново-луговые (агрогумусово-квазиглеевые) слабо-солонцеватые глубокосолончаковатые почвы с УГВ 2,5–3,0 м занимали также небольшую

площадь (3,6%). Каштаново-луговые (агрогумусово-квазиглеевые) почвы Крымского Присивашья формируются при УГВ ближе 3 м к поверхности. Они занимают небольшую площадь (4,9 тыс. га) в Присивашье Крыма. В настоящее время УГВ на части площади снижен дренажом до 2,0–2,5 м. Эти почвы образовались в районе минерализованных грунтовых вод. В почвенном покрове обычно формируются 2–3- и многокомпонентные комплексы с различной степенью солонцеватости и солонцы луговые (солонцы светлые квазиглеевые). Они отличаются небольшой мощностью гумусового горизонта (до 22 см), содержанием гумуса до 3,2% у целинных аналогов, более светлой окраской этого горизонта по сравнению с лугово-каштановыми (агрокаштановыми квазиглееватыми) почвами.

Водно-солевой режим каштаново-луговых (агрогумусово-квазиглеевых) глубокосолонцеватых почв характеризуется аккумуляцией водорастворимых солей глубже гумусовых горизонтов. В результате происходит осолонцевание, в основном гумусового переходного горизонта, который при этом превращается в гумусовый иллювиальный горизонт (BCN).

Исследования проводили также на черноземах южных (агрочерноземы сегрегационные) глубокозасоленные, которые преобладают в равнинной части степного Крыма и сформировались на лессовидных породах (456 тыс. га) и на красно-бурых плиоценовых глинах. Почвы, сформировавшиеся на красно-бурых глинах, занимают небольшую площадь в юго-западной части Крыма.

Черноземы южные (агрочерноземы сегрегационные) распространены на территории Центрально-Крымской возвышенной пологоволнистой равнины и приурочены к плоским широким (межбалочным) водораздельным пространствам в зоне типичной Южной степи. Мощность гумусового (пахотного) горизонта (PU) составляет 24–36 см, всей гумусовой толщи — 57–70 см. Горизонт PU серый с темно-бурым оттенком. Структура на пашне — глыбисто-комковато-порошистая. Вскипание от HCl наблюдается с глубины 32–49 см. Горизонт обильной четкой белоглазки (BCAnc) отмечается на глубине 60–100 см. Скопление кристаллов гипса (Cca, nc, cs) прослеживается в толще 150–200 см. Эти почвы Крыма

являются наиболее плодородными и эталонными для создания шкал бонитета. В связи с эти они давно распаханы. На пашне содержание гумуса в горизонте PU не превышает 2,4–2,6%. Уменьшение содержания гумуса в этом горизонте по сравнению с целинными аналогами достигает 30%. Валового азота на пашне содержится 0,11–0,12%, валового фосфора и калия соответственно — 0,20 и 1,96%.

Карбонаты в южных черноземах (агрочерноземах сегрегационных) вымыты из верхней части гумусовой толщи, но в почвах под садами, где при их закладке повсеместно проводится плантажная вспашка на глубину 50–60 см, карбонаты обнаруживаются с поверхности в количествах 3–8%, в карбонатно-иллювиальном горизонте их содержание повышается до 16–19%.

Сумма обменных оснований в горизонте PU составляет 28–38%. В составе поглощенных катионов преобладает кальций (82–87%), содержание обменного магния – 10–12% и натрия 2–6% от емкости поглощения. Реакция почвенного раствора в верхнем горизонте слабощелочная ($pH_{водн.}$ 7,7–7,9), с глубиной в карбонатно-иллювиальном горизонте — щелочная ($pH_{водн.}$ 8,3–8,4). Гидролизуемого азота в пахотном слое содержится 30–60 мг/кг, в подпахотном — 20–40 мг/кг, количество подвижного фосфора колеблется в пределах от 10 до 25 мг, обменного калия — 180–280 мг/кг почвы.

Гранулометрический состав южных черноземов (агрочерноземов сегрегационных) тяжелосуглинистый и легкоглинистый крупнопылевато-иловатый.

Воднорастворимых солей в почвенном профиле до глубины 150–200 см содержится незначительное количество. Величина плотного остатка колеблется в пределах 0,1–0,3%. В горизонте скопления гипса сумма солей возрастает до 1,5%. Тип засоления сультфатно-кальциевый.

Черноземы южные карбонатные (агрочерноземы сегрегационные карбонатные) на красно-бурых плиоценовых глинах распространены в пределах Центральной высокой степи. Опытные участки по изучению биологизированного содержания почвы в саду и применения биоудобрений в

питомнике размещены на этих почвах в СО НБС – ННЦ. По строению профиля почвы близки к черноземам южным на лёссовидных глинах, но гумусовый горизонт имеет темно-серую окраску с коричневым (каштановым) оттенком, а переходный – с красноватым оттенком. По профилю данных черноземов отмечаются редкие включения мелкой гальки, что связано с особенностями формирования плиоценовых глин.

Данные черноземы в основном слабогумусированные. На пашне количество гумуса в верхнем гумусовом горизонте составляет 2,6–2,9%, в выпаханных деградированных черноземах — до 2,1%. Валовое содержание азота составляет 0,2–0,3%, фосфора — 0,09–0,16%, калия 2,3–2,6%. Гидролизуемого азота в горизонте PU содержится 40–100, подвижного фосфора 5–30, обменного калия — 270–820 мг/кг почвы. Следовательно, эти почвы также очень плодородны.

Реакция почвенного раствора в гумусовых горизонтах нейтральная или слабощелочная ($pH_{водн.}$ 7,1–7,7). С глубиной в карбонатно-иллювиальных горизонтах она становится щелочной ($pH_{водн.}$ увеличивается до 8,0–8,6).

Карбонаты кальция в этих черноземах отмечаются с глубины 30–45 см, в плантажированных разновидностях — с поверхности (3–9%). В горизонте скопления белоглазки их количество составляет 16–27%.

Сумма поглощенных оснований в верхних горизонтах достигает 34–41 смоль(экв)/кг. Поглощающий комплекс насыщен кальцием (80–90% от емкости обмена). Содержание обменного натрия не превышает 2,3–3,6%. Водорастворимые соли выщелочены до глубины 150–200 см. Величина плотного остатка в этой толще не превышает 0,12–0,26%. Глубже содержание солей возрастает и в горизонте скопления гипса составляет 1,37–1,57%. Засоление носит сульфатно-кальциевый характер.

Гранулометрический состав черноземов южных на красно-бурых глинах — легко- и среднеглинистый с более высоким содержанием ила по профилю (35–40%), чем в таких же почвах на лёссовидных глинах.

Почвы опытных участков в плодовом питомнике характеризовались мощностью гумусового плантажированного горизонта 50–60 см, содержанием

карбонатов 3–20%, среднещелочной реакцией почвенного раствора $pH_{водн.}$ 8,3–8,6. Легкорастворимые соли залегали на глубже 200 см, УГВ — глубже 8 м. В момент закладки опытов содержание гумуса в почвах составляло 2,6–3,1%. Содержание нитратного азота было низким (3–6 мг/кг), подвижных форм фосфора колебалось в зависимости от года и выращиваемой культуры от низкого до оптимального (20–75 мг/кг), обменного калия — было высоким (300–600 мг/кг).

Таким образом, почвы, являющиеся объектами исследования пригодны для выращивания плодовых культур [Иванов и др., 1998). На темно-каштановых (агрокаштановых сегрегационных) слабосолонцеватых почвах ограничивающими (лимитирующими) эдафическими факторами являются: близкое залегание солевого горизонта, повышенное содержание поглощенного натрия, высокое pH. На каштаново-луговых (агрогумусово-квазиглеевых) солонцеватых почвах неблагоприятным для садового агроценоза может быть близкое залегание минерализованных грунтовых вод, высокая солонцеватость. На черноземах южных карбонатных, сформировавшихся на красно-бурых глинах, лимитирующими факторами являются высокая плотность и тяжелый гранулометрический состав почвы и почвообразующей породы.

На всех перечисленных почвах процессы ощелачивания в результате орошения и плантажной вспашки в садовых агроценозах имели место. Неблагоприятным было также ухудшение структуры, уплотнение и дегумификация в результате длительного содержания междурядий под черным паром и нехватки органических удобрений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

РАЗДЕЛ 3

КИСЛОТНЫЕ ОСАДКИ: МОНИТОРИНГ, РЕАКЦИЯ ПЛОДОВЫХ РАСТЕНИЙ И ОЦЕНКА ИХ УСТОЙЧИВОСТИ

Загрязнение воздуха — глобальная экологическая проблема. Развитие промышленности, транспорта, энергетики, сжигание большого количества углеводородов привело к значительным изменениям состава приземного слоя атмосферы с наличием вредных примесей. Это загрязнение может нанести вред не только здоровью людей и животных, но и негативно воздействовать на растения, почвы, поверхностные воды, приводить к разрушению зданий, старинных монументов и т.д. Плодовые растения являются чувствительными к загрязнению воздуха, особенно кислыми газами. Это приводит к повреждениям листового аппарата, усыханию ветвей, потере урожая и снижения его качества. Дальний перенос загрязняющих веществ из промышленных в сельскохозяйственные районы, случайность выбросов и слабая прогнозируемость загрязнения делает необходимым постоянное слежение за химическим составом атмосферы — ее мониторингом.

Мониторинг атмосферного воздуха — это слежение за его состоянием и предупреждение о критических ситуациях, вредных или опасных для здоровья людей и других живых организмов. Одним из видов слежения за состоянием атмосферы является мониторинг химического состава атмосферных осадков, который позволяет в районах широкого распространения плодовых насаждений оценивать не только состав атмосферных выпадений, но и следить за реакцией плодовых растений на различные примеси с целью определения их устойчивости или чувствительности и подбора наиболее толерантных и продуктивных сортов с целью их культивирования в районах, подвергающихся воздействию воздушных поллютантов.

3.1. Мониторинг химического состава атмосферных осадков в степном Крыму (на примере Степного отделения НБС − ННЦ)

Нами на протяжении 14 лет проводился мониторинг химического состава атмосферных осадков в степном Крыму [Клименко, Клименко, 2004; Клименко, 2014]. Целью мониторинга было слежение за химическим составом и величиной pH атмосферных осадков, обнаружение КО, установление зависимостей величины их pH от химического состава, разработка прогноза подкисления атмосферных осадков в данном регионе.

3.1.1. Концентрация ионов в атмосферных осадках.

Наблюдения за концентрацией химических примесей в атмосферных осадках показывают, что в среднем за 14 лет в составе примесей преобладал **сульфатный ион**. За этот период его среднегодовое значение составило 95 ± 8 мкг–экв/дм^3 (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Средние за период наблюдений концентрации основных ионов в атмосферных осадках (мкг–экв/дм^3)

Периоды	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	NH_4^+
Весь год	95 ± 8	46 ± 4	54 ± 6	77 ± 9
Холодный период года	99 ± 10	48 ± 3	65 ± 8	80 ± 10
Теплый период года	91 ± 9	46 ± 4	46 ± 6	76 ± 12
Примечание − Здесь и далее в таблицах первая цифра – среднее арифметическое, ± стандартная ошибка средней.				

По годам отмечены значительные колебания среднегодовой концентрации этого иона: от 40 в 2007 г. до 156 мкг–экв/дм^3 в 2000 г. (рисунок 3.1). Наибольшие концентрации отмечены в период с 1997 по 2000 г., особенно высокие в 2000 г. Это связано с увеличением числа точечных источников загрязнения в связи с

переходом на индивидуальное отопление углем после закрытия централизованной котельной в поселке, а также с отмеченным ранее снижением количества осадков.

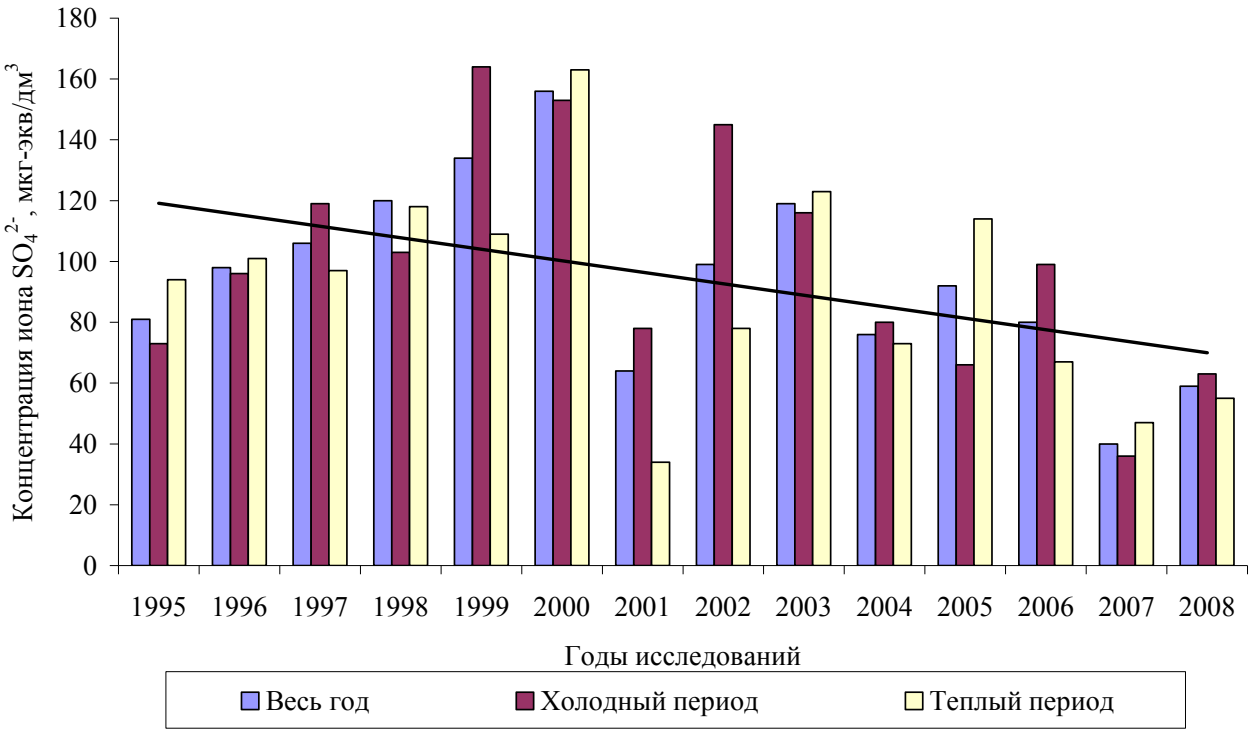

Рисунок 3.1. Динамика концентрации сульфатного иона в атмосферных осадках в 1995–2008 гг., в среднем за год и по периодам года, ━ – линия тренда среднегодовой концентрации иона SO_4^{2-}

Значения этих концентраций в 5–10 раз выше, чем приведенные в литературе для ряда отдаленных относительно чистых районов Италии, Индии, Южной Америки [Singh, 2001], но почти втрое ниже, чем в некоторых индустриальных центрах Китая, Иордании и других [Feng, 2001], таблица 3.2. Наиболее низкие значения концентрации этого иона в осадках наблюдались в последние годы (40–59 мкг–экв/дм^3) в связи со снижением выбросов, связанных с использованием угля в котельных в результате газификациии района. В целом, за весь период наблюдений, концентрация сульфат-иона имела существенный отрицательный тренд ($p = 0,05$) и ее снижение составило 3,3 мкг–экв/дм^3 в год.

Таблица 3.2 – Средние концентрации главных компонентов в атмосферных осадках различных отдаленных и индустриальных мест мира (мкг–экв/дм^3)

Показатель	Отдаленные										Индустриальные		
	Альпы Италия	Аляска	Австра-лия	Южная Америка	Таиланд	Индия центр	Ялта, мыс Мартьян	Корея прибреж-ная	Юг России	Hakyuchi Япония	Китай	Амман Иордания	Манчес-тер Велико-брит.
	[Singh, 2001]						[Метод. рек…, 1985, Молчанов и др., 1980]	[Kang et al., 2004]	[Обзор загрязнения…, 2000]	[Feng, 2001]			
pH	6,0	3,9	4,2	-	7,0	6,6	4,46	4,89	5,8	4,56	4,47	6,15	–
Ca^{2+}	22,0	0,1	1,7	0,3	9,0	5,2	61	28	43	54,1	418	294	99,6
Mg^{2+}	5,0	0,2	1,3	0,5	2,0	39,3	16	11.6	–	13,0	40,3	78,7	34,4
Na^{+}	9,0	1,0	4,3	1,8	5,0	13,9	58	37	42	20,1	24,0	137,2	152
K^{+}	2.0	0,6	0,9	0,8	1,8	10,9	4,0	7,6	–	5,3	82,6	19,7	5,5
NH_4^{+}	27,0	1,1	2,9	2,3	9,0	41,4	43	67	62	29,2	106	48,6	45,5
SO_4^{2-}	42,0	7,2	3,9	2,9	13,0	29,1	126	77	118	47,4	469	249	–
NO_3^{-}	26,0	1,9	4,0	2,6	4,0	13,0	32	226	39	39,0	45,0	46,9	35,5
Cl^{-}	7,0	2,6	7,7	2,5	6,0	25,7	63	42	53	37,0	27,6	12,9	176
«-» нет данных.													

Это согласуется с данными большинства исследователей, проводивших мониторинг химического состава мокрых выпадений за последние 20 лет, как в Европе [Fowler et al., 2007; Sicard, 2007; Arisci et al., 2011; Maznova, Hunova, 2011], так и в некоторых странах Азии [Lacaux et al., 1992; Streets et al., 2000; Topcu et al., 2002; Yang et al., 2004; Migliavacca et al., 2005; Zhang et al., 2007] и Америки [Khwaja et al., 1990; Ito et al., 2002; Mouli et al., 2005; Nilles et al., 2011]. Это связано с ограничением выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в Европе. В Украине и странах СНГ это вызвано еще и падением уровня промышленного производства в этот период. Существенное уменьшение выбросов серы в Крыму связано с переходом большинства котельных на природный газ за последние десять лет.

В среднем, за 14 лет наблюдений концентрация иона SO_4^{2-} в холодный период года составила 99 ± 10 мкг–экв/дм^3 (таблица 3.1). В этот период года самые высокие среднегодовые значения концентрации иона SO_4^{2-} отмечены в 1999, 2000 и 2002 гг., самые низкие — в 2007 и 2008 гг. (рисунок 3.1).

За весь период наблюдений в холодное время года отмечен отрицательный тренд концентрации сульфатного иона от 125 до 75 мкг–экв/дм^3, что в среднем за холодный период составило такую же величину, как и для целого года.

В теплый период года средняя концентрация сульфат-иона в атмосферных осадках составила 91 ± 8 мкг–экв/дм^3 и была на 8 мкг–экв/дм^3 ниже, чем в холодный период (различия в пределах ошибки средних). В 50% лет в этот период года содержание иона SO_4^{2-} в осадках было выше, чем в холодный период. Максимальные концентрации сульфат-иона в теплое время года отмечены с 1998, 2000 и 2003 гг., которые были выше среднего многолетнего значения (рисунок 3.2). Минимальные концентрации сульфат-иона в этот период года наблюдались в 2001 и 2007–2008 гг. (34–67 мкг–экв/дм^3). Динамика концентрации сульфат-иона в атмосферных осадках во времени в теплый период также была отрицательной.

Если рассматривать изменения среднегодовых и сезонных концентраций иона SO_4^{2-} за два периода исследований, то видно, что его среднегодовая

концентрация в осадках во второй восьмилетний период существенно снизилась по сравнению с первыми годами наблюдений на 37 мкг–экв/дм^3 (рисунок 3.2).

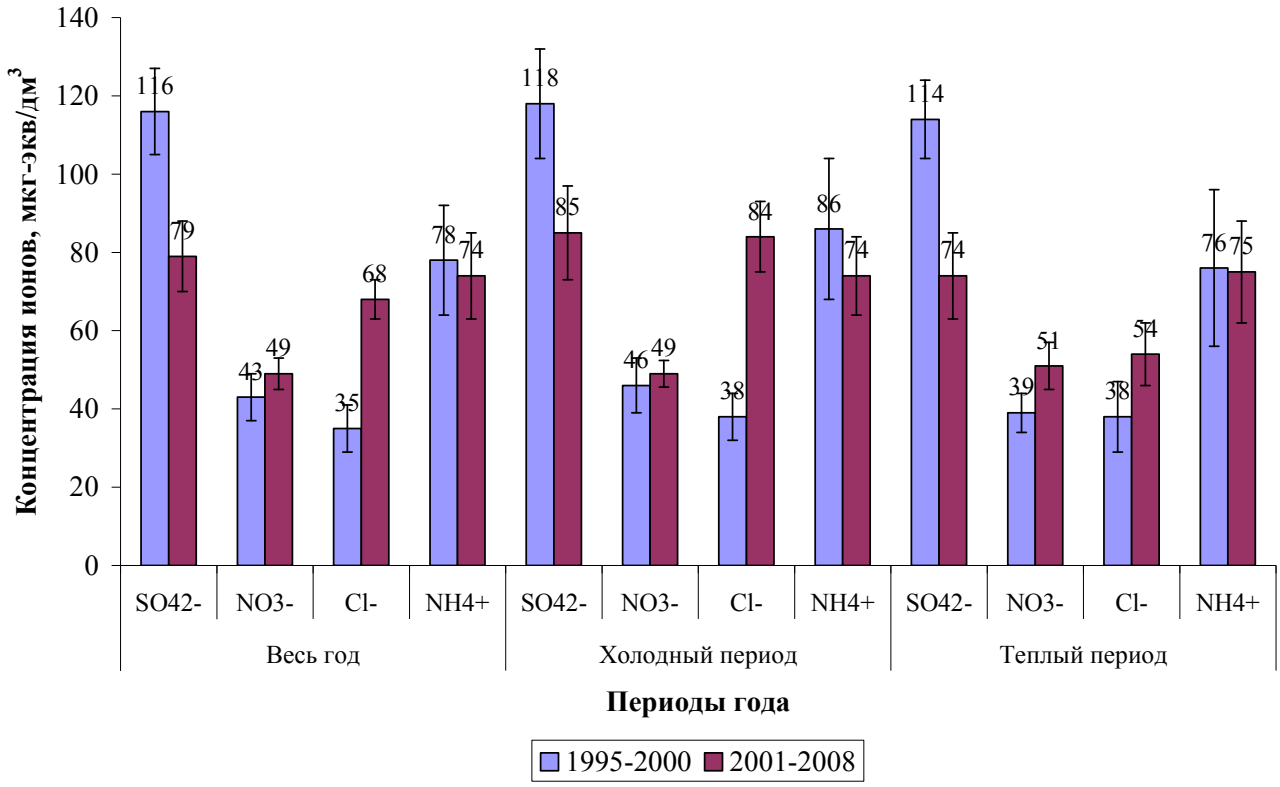

Рисунок 3.2. Среднегодовые и средние по периодам года концентрации основных ионов в осадках в периоды 1995–2000 и 2001–2008 гг.

В теплый период года это снижение было более значительным и достоверным по сравнению с холодным периодом и составило 40 мкг–экв/дм^3.

Концентрация иона NO_3^- в атмосферных осадках степного Крыма была достаточно высокой и в среднем за 14 лет наблюдений составила 46 ± 4 мкг–экв/дм^3 с незначительным варьированием по годам (V = 28,8%), таблица 3.1, рисунок 3.3. Такие концентрации этого иона в осадках характерны скорее для индустриальных районов мира (таблица 3.2). Наибольшие среднегодовые концентрации этого иона наблюдались в 2000 и 2003 гг. — 72 и 63 мкг–экв/дм^3 соответственно. Содержание иона NO_3^- в атмосферных осадках в 50% лет было значительно ниже и колебалось в пределах 31–38 мкг–экв/дм^3. В целом, динамика концентраций нитратного иона в осадках за весь период наблюдений была положительной и достоверной с ощутимым всплеском в 2000–2003 гг.

Увеличение содержания иона NO_3^- в атмосферных осадках за годы исследований было более ощутимым в теплый период года.

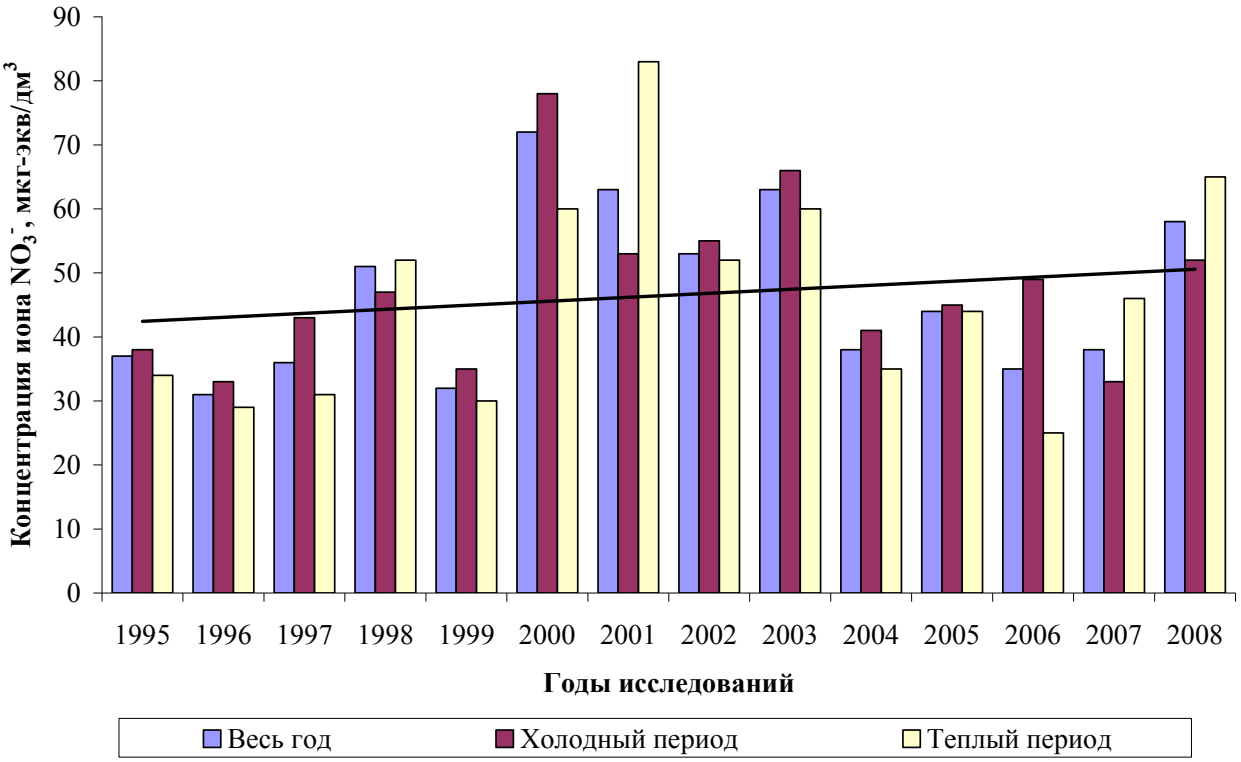

Рисунок 3.3. Динамика концентрации иона NO_3^- в атмосферных осадках по годам наблюдений в степном Крыму, 1995–2008 гг., ——— – линия тренда среднегодовой концентрации иона NO_3^-

Так, в этот период года его среднее содержание во вторые восемь лет наблюдений было на 12 мкг–экв/дм^3 выше, чем в первые шесть лет (рис. 3.3). Возможно, это связано, во-первых, с увеличением количества азотных удобрений, вносимых в период вегетации растений в виде подкормки в последние годы, во-вторых — с увеличением потока автотранспорта в летнее время года в Крыму, выбросы диоксида азота которым, по данным Госкомстата Украины, за эти годы в Украине выросли почти вдвое [Статистичний щорічник…, 2011].

В холодное время года концентрация иона NO_3^- также несколько увеличивалась во времени, но разница между двумя периодами исследований была небольшой и составила 3 мкг–экв/дм^3. Обнаружена положительная достоверная корреляция среднегодовых концентраций ионов SO_4^{2-} и NO_3^- в

атмосферных осадках степного Крыма (r = 0,42, n = 133). Еще более тесная и достоверная связь выявлена для холодного периода года (r = 0,57, n = 67), что говорит об одном источнике поступления этих ионов в осадки.

Соотношение двух кислотообразующих ионов в осадках: SO_4^{2-}:NO_3^- в среднем за весь период исследований составило 2,2 (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Соотношение концентраций ионов SO_4^{2-} и NO_3^- в атмосферных осадках СО НБС − ННЦ за 1995–2008 гг.

Годы наблюдений	Соотношение концентраций ионов SO_4^{2-} и NO_3^-		
	в целом за год	в холодный период	в теплый период
1995	2,2	1,9	2,7
1996	3,2	2,9	3,5
1997	2,9	2,8	3,1
1998	2,4	2,2	2,3
1999	4,2	4,7	3,6
2000	2,2	2,0	2,7
2001	1,0	1,5	0,4
2002	1,9	2,6	1,5
2003	1,9	1,8	2,0
2004	2,0	1,1	2,1
2005	2,1	1,5	2,6
2006	2,3	2,0	2,7
2007	1,0	1,1	1,0
2008	1,0	1,2	0,8
Среднее за все годы	2,2 ± 0,2	2,1 ± 0,2	2,2 ± 0,3
Среднее за 1995–2000 гг.	2,9 ± 0,3	2,8 ± 0,4	3,0 ± 0,2
Среднее за 2001–2008 гг.	1,6 ± 0,2**	1,6 ± 0,2*	1,6 ± 0,3**
* Разница с периодом 1995–2000 гг. существенна, $p \leq 0,05$; ** разница с тем же периодом существенна, $p \leq 0,01$.			

Причем по периодам года получены такие же средние многолетние величины соотношения этих ионов. Однако по годам наблюдались значительные колебания в их соотношении: от 1,0 в 2001 и в двух последних годах исследований до 4,2 в 1999 г. В целом, отмечена стойкая тенденция к снижению этого соотношения во времени. Так, в первые шесть лет наблюдений это

соотношение составило 2,9, а последние восемь — 1,6, что достоверно ниже на 1%-ном уровне значимости. Это согласуется с данными K. E. Percy и M. Ferretti [2004], которые установили, что в последние два десятилетия в некоторых регионах мира молярное отношение SO_4:NO_3 снизилось от 2:1 до почти 1:1. Та же закономерность отмечена и для периодов года, особенно рельефная для теплого периода. Это связано со снижением концентрации иона SO_4^{2-} и увеличением – иона NO_3^- в осадках во времени.

Такие изменения концентраций и соотношения данных ионов в атмосферных осадках могут иметь положительные последствия по влиянию на растения, как будет показано в подразделе 3.4.

Концентрация хлорид-иона в атмосферных осадках по среднемесячным взвешенным на объем осадков значениям колебалась от 23 до 82 мкг–экв/дм^3 по годам наблюдений, и в среднем за 14 лет составила 54 ± 6 мкг–экв/дм^3, что является типичным для некоторых отдаленных, в т. ч. прибрежных районов мира (таблица 3.2, рисунок 3.4].

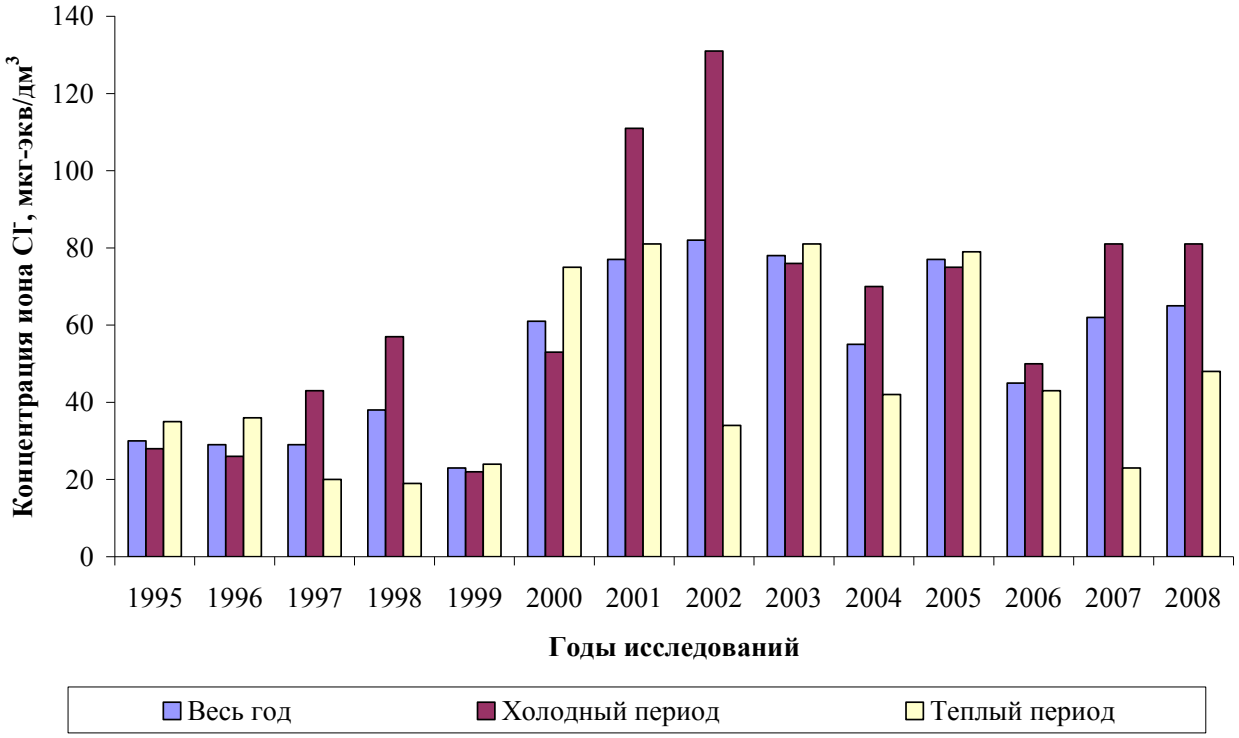

Рисунок 3.4. Динамика концентрации иона Cl^- в атмосферных осадках степного Крыма в среднем за весь год и по периодам года (1995–2008 гг.)

Наиболее высокие среднегодовые концентрации этого иона в осадках были обнаружены в 2001–2003 и 2005 гг. и достигали 77–82 мкг–экв/дм^3. Возможно, это было связано с появлением локального источника загрязнения ЧП «Аверс» по производству бытовых пластмасс, которое наиболее интенсивно работало в эти годы и находилось в двух километрах к юго-западу от места сбора осадков. За последние годы наблюдений концентрации хлорид-иона в осадках снизились, но были почти вдвое выше, чем в 1995–1997 гг.

В холодный период года среднее за весь период наблюдений содержание иона хлора составило 65 ± 8 мкг–экв/дм^3, что было на 19 мкг–экв/дм^3 выше, чем в теплый период (таблица 3.1). Содержание хлорид-иона в осадках в это время года в 57% лет было более высоким, чем в теплый. Нередко это превышение было существенным и достигало 33–97 мкг–экв/дм^3 (2002, 2007 и 2008 гг.).

Повышенное содержание ионов хлора в атмосферных осадках в холодный период года связано с увеличением скорости ветра и усилением штормовых явлений в осенне-зимний период [Лавриненко, 2003]. Кроме того, одним из источников дополнительного поступления этого иона в атмосферу является поваренная соль, которую используют в зимний период в качестве противогололедного средства на автотрассах.

В целом, отмечен достоверный положительный тренд концентрации хлорид-иона в атмосферных осадках во времени. В первые шесть лет исследований его среднегодовое содержание было невысоким (30 мкг–экв/дм^3) и близким к фоновому (20–30 мкг–экв/дм^3 [Лавриненко, 2003]. Начиная с 2000 г. оно повышалось и достигло максимума в 2002 г. (82 мкг–экв/дм^3). В среднем за вторые восемь лет наблюдений оно составило 68 мкг–экв/дм^3, что почти вдвое превышало среднее содержание этого иона в первый период (разница существенна, $p \leq 0{,}01$, рисунок 3.2).

В теплый период года также отмечено повышение концентрации иона Cl^- в атмосферных осадках во времени. Разница между двумя периодами наблюдений была значительной и составила 16 мкг–экв/дм^3.

Следовательно, среднее содержание иона Cl^- в атмосферных осадках региона было достаточно высоким и отражало близость к прибрежным территориям. В связи с этим, большее загрязнение атмосферных осадков ионами хлора происходило в холодное время года. Отмечен значительный положительный тренд концентрации этого иона во времени, особенно значительный в этот период года.

Концентрация иона NH_4^+ в осадках была значительной и составила в среднем за весь период наблюдений 77 мкг–экв/дм^3 при довольно высоком варьировании по годам, равном 42,7% (таблица 3.1, рисунок 3.5).

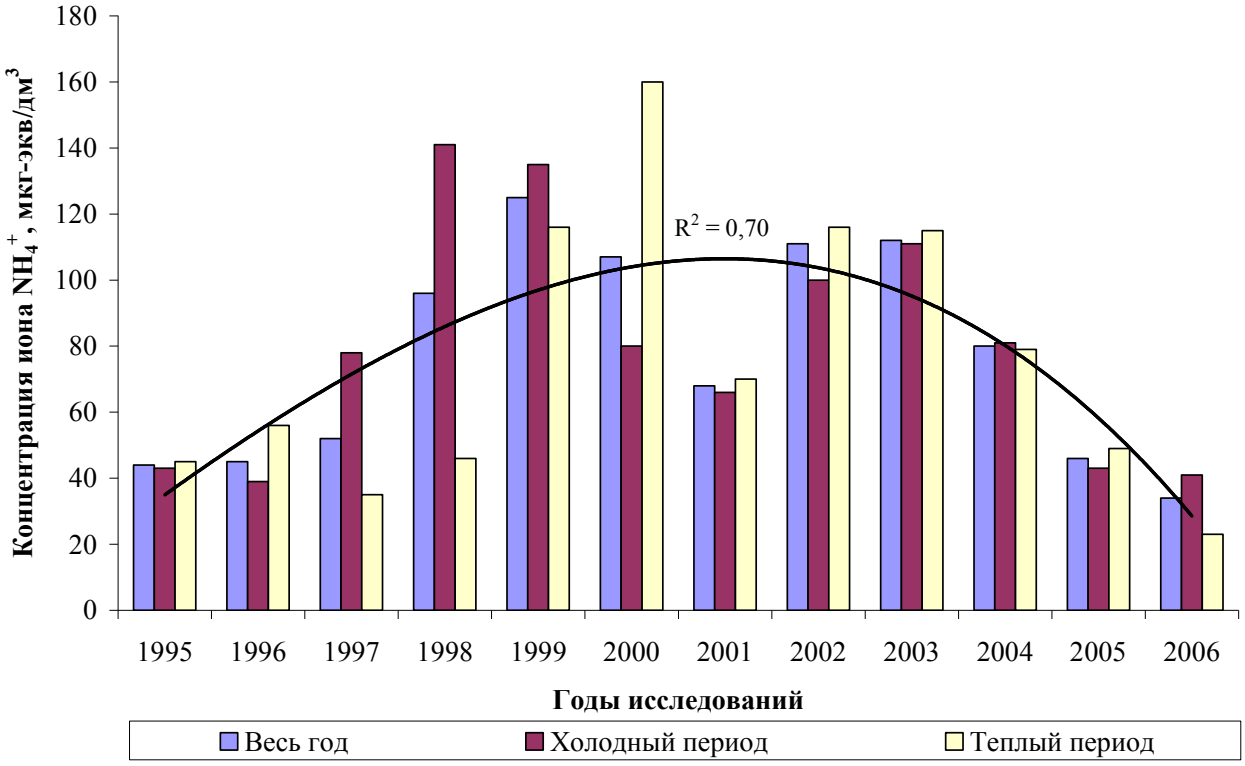

Рисунок 3.5. Динамика концентрации иона NH_4^+ в атмосферных осадках степного Крыма, среднее за год и по периодам года (1995–2006 гг.)

– линия тренда среднегодовой концентрации иона NH_4

Наибольших значений она достигала с 1998 по 2004 г. В начале и конце периода наблюдений его концентрации были наиболее низкими.

В целом за все время наблюдений в теплый период года концентрация иона NH_4^+ в 58% лет была выше, чем в холодный, а в последние шесть лет

преобладание концентраций этого иона в теплое время года увеличилось до 67% лет.

Это подтверждает общую тенденцию большего поступления иона аммония в атмосферу в теплый период года, особенно в сельскохозяйственных районах [Обзор фонового…, 2007].

В среднем, за двенадцать лет наблюдений (в первые два года этот ион в осадках не определяли), содержание иона аммония мало различалось по периодам года и составило 80 ± 5 в холодный и 76 ± 5 мкг–экв/дм^3 в теплый период при значительном варьировании по годам (V = 59,0 и 55,2% соответственно). Однако в холодный период отмечен заметный отрицательный тренд концентрации этого иона. Так, в первый шестилетний период наблюдений его средняя концентрация составила 86 ± 18 мкг–экв/дм^3, а во второй период снизилась до 74 ± 10 мкг–экв/дм^3 (рисунок 3.2). Это подтверждает и общую тенденцию падения средней по стране концентрации этого иона в осадках, отмеченную Гидрометслужбой Украины, в связи со спадом животноводства, которое является основным источником поступления этого иона в атмосферные осадки [Національна доповідь…, 2011]. В теплый период года не отмечено изменения концентрации этого иона во времени.

Таким образом, содержание иона аммония в атмосферных осадках района наблюдений было высоким, что характерно для сельскохозяйственного региона. В теплый период года концентрация этого иона в осадках чаще была более высокой, чем в холодный, что также характеризует сельскохозяйственный район. В холодный период года наблюдалась тенденция к снижению его концентраций в осадках во времени. В целом, линия тренда концентраций этого иона в осадках была параболической с максимумом, приходящимся на начало 2000-х годов.

3.1.2. Величина pH атмосферных осадков

Измеренная величина pH атмосферных осадков в период наблюдений колебалась в довольно широких пределах от 3,75 до 7,28 (таблица 3.4).

Среднегодовые величины pH атмосферных осадков колебались от 4,33 в 2006 г. до 5,92 в 1999 г. Средняя за год многолетняя величина pH атмосферных осадков равна 5,18 ± 0,13. Следовательно, в среднем за 14 лет наблюдений осадки были слабокислыми. Из данных таблицы 3.4 видно также, что со временем среднегодовые значения pH осадков постоянно снижались и в последние пять лет были ниже пяти.

Таблица 3.4 – Величина pH атмосферных осадков в степном Крыму (1995–2008 гг.)

Год	Весь год		Холодный период		Теплый период	
	крайние значения	среднее логарифмическое	крайние значения	среднее логарифмическое	крайние значения	среднее логарифмическое
1995	4.43–6,95	5,66	4,43–6,24	5,17	5,10–6,95	6,39*
1996	3,95–**7,28**	5,75	3,95–7,07	5,61	5,23–**7,28**	6,04
1997	4,00–**7,28**	5,52	4,00–**7,28**	5,14	5,45–6,92	5,77*
1998	4,09–7,02	5,65	4,09–7,02	5,08	5,57–6,96	6,26*
1999	4,22–6,78	5,92	4,22–6,23	5,68	5,62–6,78	6,12*
2000	4,52–6,18	5,06	4,52–6,18	4,98	5,22–5,61	5,22
2001	3,95–6,61	5,19	4,44–6,61	5,44	3,95–5,95	4,71
2002	4,43–6,06	5,12	5,15–5,60	5,03	4,43–6,06	5,16
2003	4,05–6,74	5,03	4,05–6,74	4,99	4,32–6,66	5,07
2004	4,30–6,10	5,06	4,30–5,77	5,17	4,36–6,10	4,98
2005	4,02–6,75	4,79	4,02–6,20	4,84	4,36–6,75	4,74
2006	**3,72**–5,92	4,33	4,06–5,92	4,41	**3,72**–5,56	4,29
2007	3,90–6,90	4,78	3,90–5,90	4,48	4,13–6,90	5,38
2008	3,96–6,45	4,63	4,21–6,45	4,91	3,96–5,50	4,35
Среднее		5,18 ± 0,13	–	5,07 ± 0,10	–	5,32 ± 0,19
Среднее за 1995–2000 гг.		5,59 ± 0,12	–	5,28 ± 0,12	–	5,97 ± 0,17
Среднее за 2001–2008 гг.		4,86 ± 0,10*	–	4,91 ± 0,12*	–	4,84 ± 0,13*
* Разница со средним значением периода 1995–2000 гг. существенна, $p \leq 0,05$.						

.

Существенная разница в среднегодовых значениях pH осадков отмечена между двумя периодами наблюдений и составила 0,73. В холодный период года средняя многолетняя величина pH была ниже, чем в теплый период на 0,25.

Данные за два периода наблюдений показывают достоверное снижение средней логарифмической величины pH атмосферных осадков во времени. Особенно значительным и достоверным оно было для теплого периода года и равнялось 1,13, что составляет 0,08 единицы в год. Следовательно, подкисление осадков в последние годы происходило в основном в теплый период года. Это подтверждает данные наблюдений Государственной гидрометслужбы Украины за 2006 и 2009 гг., в которых отмечаются КО в основном на Крымских станциях [Національна доповідь…, 2006, 2011].

Осадки с pH менее 4 и более 7 встречались редко: от 3 до 15% случаев в 21–36% лет. В среднем, за 14 лет наблюдений их частота не превышала 2% от общего числа случаев (рисунок 3.6).

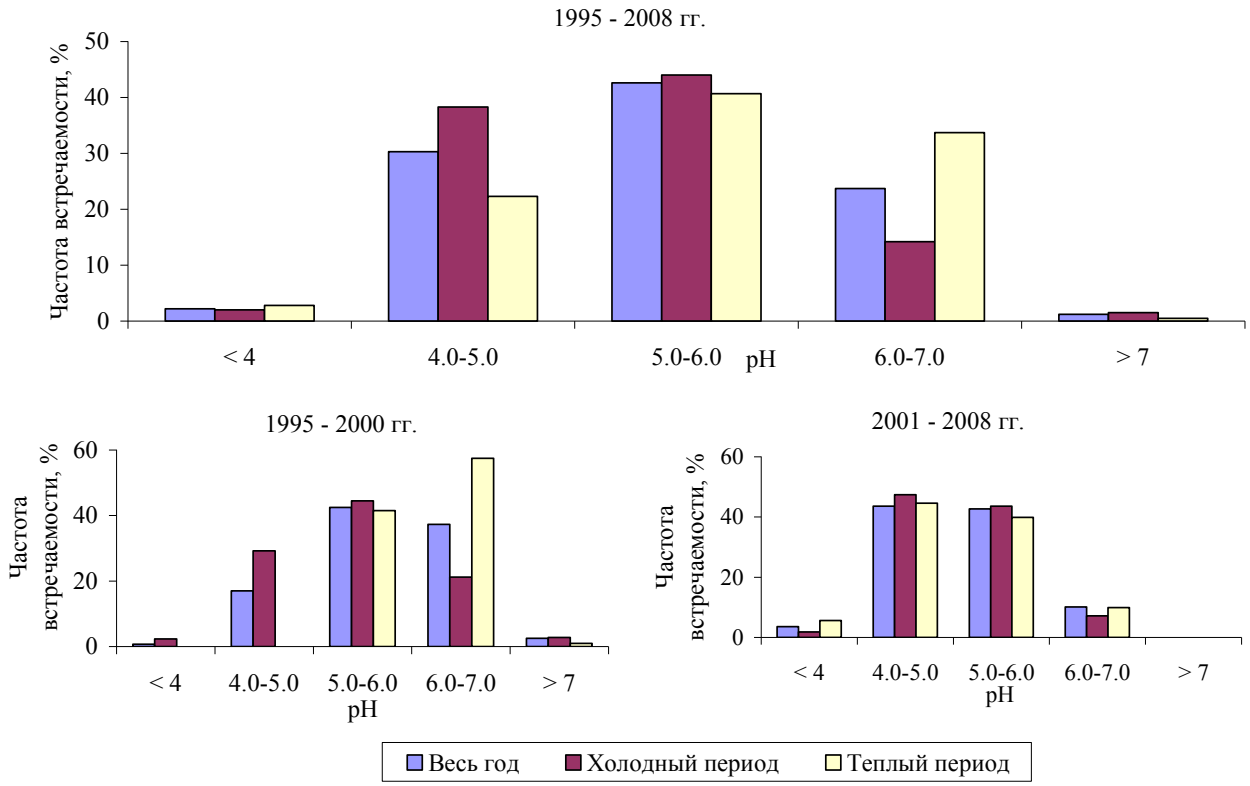

Рисунок 3.6. Частота встречаемости величины pH атмосферных осадков (1995–2008 гг.)

Частота встречаемости кислых осадков (pH < 5) в целом за весь период наблюдений составила 32,5%. Осадки с pH в диапазоне 5–6 (слабокислые) составляли 42,6%, в диапазоне pH 6–7 (нейтральные) — 23,7% случаев.

В холодный период года чаще встречались осадки с pH менее 6 (84,3% случаев). В теплый период года максимум приходился на pH в диапазоне 5–7 (74,4% случаев).

Чтобы определить тенденцию в изменении частоты встречаемости осадков с разной величиной pH, рассмотрим их за два периода исследований (рисунок 3.6). Так, в первые шесть лет наблюдений (1995–2000 гг.) осадки с pH менее 4 встречались только в 1996 г. и зафиксированы в холодный период года. За последние восемь лет наблюдений, в целом за год их частота увеличилась до 3,6%, причем в теплый период года они встречались втрое чаще, чем в холодный. В 2001 и 2006 гг. затяжные осадки с pH 3,92 и 4,00 были зафиксированы в июне-июле, их суммы составили 32,5 мм и 21,4 мм соответственно, что вызвало значительные повреждения листового аппарата и точек роста многих растений, в том числе и плодовых. В результате замедлялся рост, появлялись некрозы и хлороз листьев (рис. 3.7). Осадки с pH более 7 встречались только в 1996–1998 гг., причем зафиксированы они были в основном в холодное время года, что было связано с сильными ветрами и загрязнением осадков пылью.

Что касается сезонов, то в холодное время года первого периода наблюдений преобладали осадки с pH в пределах 5–6 (44,5%). В последние годы максимум сместился в кислую сторону и стали преобладать осадки в диапазоне pH 4–5 (47,4%).

В теплый период года подкисление осадков во времени стало еще более заметным. Так, в 1995–2000 гг. в этот период года преобладали осадки с pH 6–7 (57,5%), а в последние восемь лет (2001–2008 гг.) подавляющее большинство осадков имело pH меньше 6 (84,5%).

Таким образом, интервал колебаний величины pH был довольно широким и сужался с течением времени, причем в последние восемь лет число осадков с pH менее 6 увеличилось в 1,5 раза по сравнению с первым периодом наблюдений.

А

Б

Рисунок 3.7. Повреждения листьев (А) и угнетение роста (Б) саженцев яблони сорта ‘Ренет Симиренко’ после затяжных кислотных дождей, июль 2006 г.

Если рассмотреть величину pH атмосферных осадков по сезонам года, то до 2000 г. в теплый период года она была выше, чем в холодный, во все годы наблюдений, то есть осадки подкислялись в основном в холодное время года (рисунок 3.8).

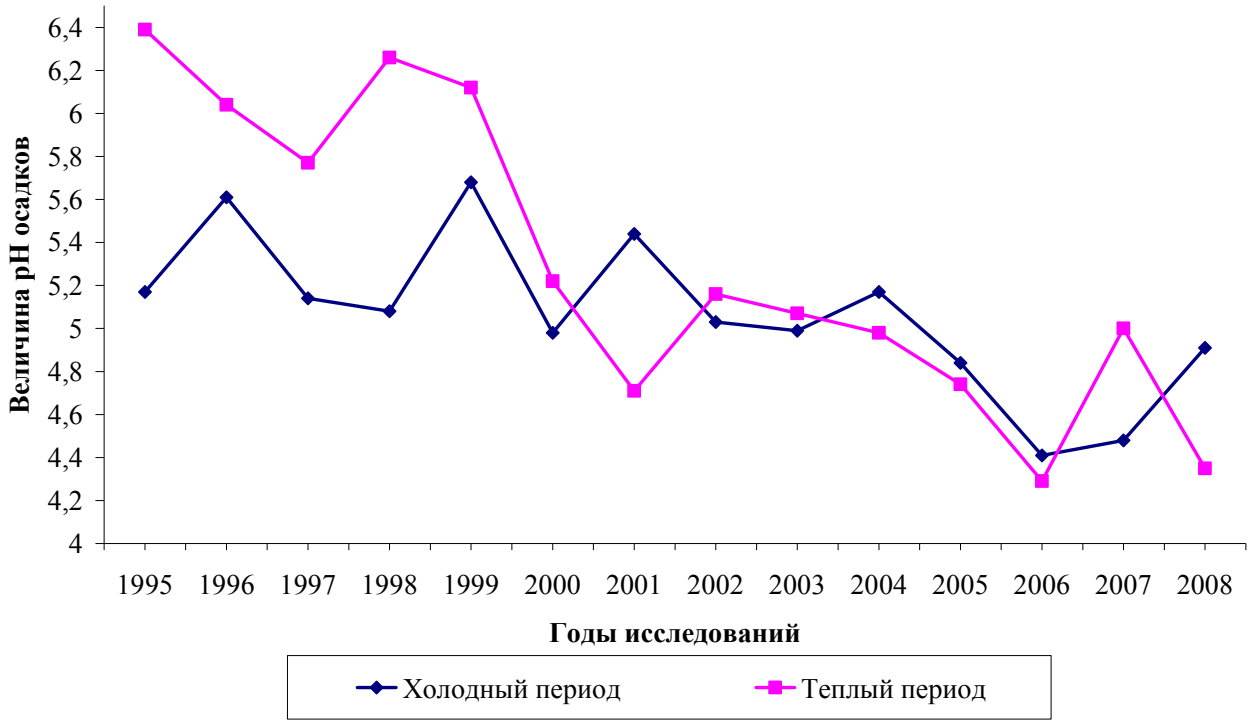

Рисунок 3.8. Среднегодовые величины pH атмосферных осадков за теплый и холодный периоды года (1995–2008 гг.)

В последние восемь лет наблюдений эта величина в пяти годах из восьми была ниже в теплый период года, чем в холодный, причем средние ее значения от года к году снижались, и в последние несколько лет были ниже 5.

Как в холодный, так и в теплый периоды года наблюдался достоверный отрицательный тренд среднегодовой логарифмической взвешенной на объем осадков величины pH во времени, однако в теплый период он был более значительным и составил 0,13 pH в год.

Таким образом, установлено значительное подкисление атмосферных осадков в пункте наблюдений, особенно в последние годы и в теплый период,

когда плодовые растения вегетируют и это может отрицательно сказывается на состоянии листового аппарата, росте и плодоношении.

3.1.3. Изменение концентраций ионов и величины pH атмосферных осадков в течение года

В течение года, в среднем за 14 лет наблюдений концентрация иона SO_4^{2-} значительно изменялась по месяцам от 71 в апреле до 116 мкг-экв/дм^3 в июле (рисунок 3.9).

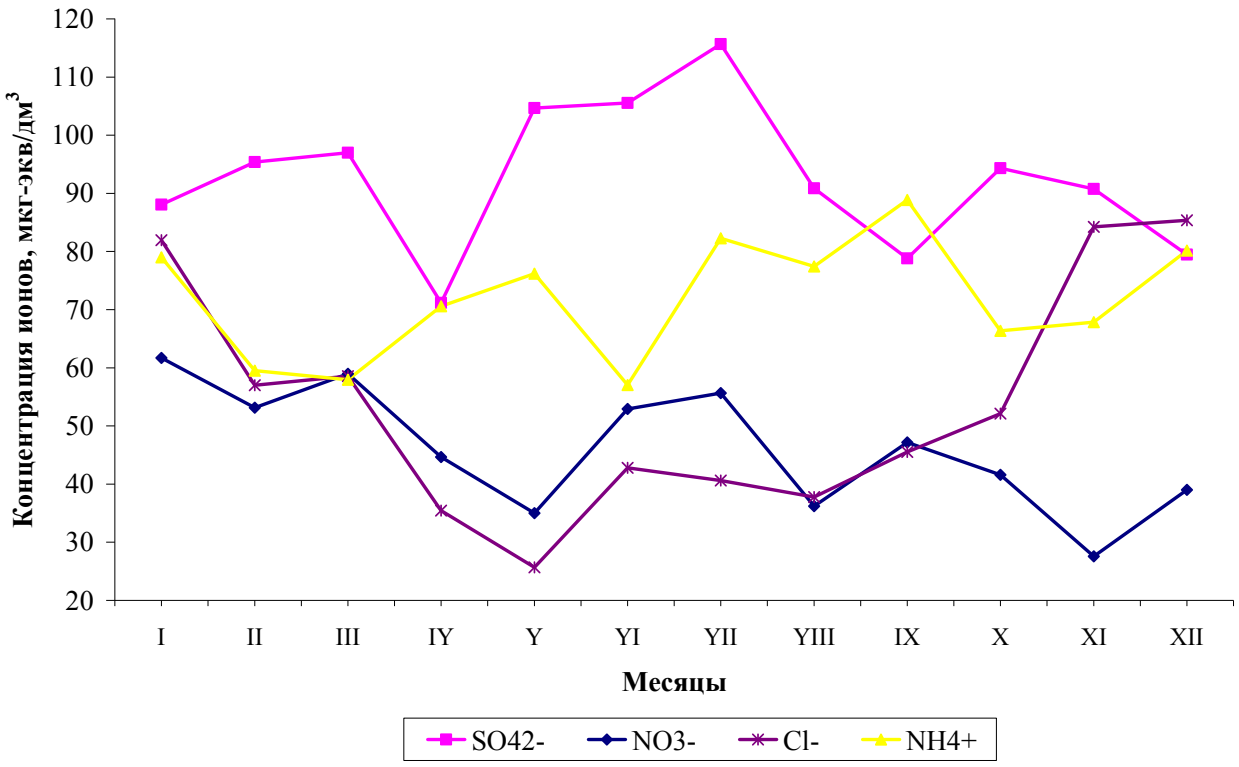

Рисунок 3.9. Изменения содержания ионов в атмосферных осадках по месяцам года (1995–2008 гг.)

Размах колебаний достигал 45 мкг–экв/дм^3. Содержание этого иона в осадках было наибольшим в мае – июле, минимальным — в апреле, сентябре и декабре. В течение года среднемесячная концентрация этого иона в осадках имела тенденцию к повышению от января к июлю, затем снижалась от июля к декабрю.

Концентрация иона NO_3^- в осадках, в среднем за 14 лет наблюдений, рассчитанная по месяцам года, колебалась в пределах 33–62 мкг-экв/дм^3. Она была максимальной в январе и постепенно снижалась к ноябрю. Содержание этого иона в осадках было минимальным в ноябре и достигало максимальных значений в январе и марте.

Среднемесячное содержание иона Cl^- в осадках было достаточно низким с апреля по сентябрь, и колебалось в пределах 25–46 мкг-экв/дм^3. С октября по январь оно увеличивалось и варьировало от 52 до 85 мкг-экв/дм^3 в среднем за 14 лет наблюдений. Максимальные концентрации этого иона отмечены в ноябре и декабре (84,2 и 85,4 мкг–экв/дм^3 соответственно). Это подтверждает ранее сделанное утверждение о том, что в холодный период года концентрация иона хлора в осадках в данном регионе повышается. Наибольшие концентрации этого иона в осадках наблюдались в 2001 и 2005 гг., когда они достигали значений 204–264 мкг–экв/дм^3 в октябре и 155–319 мкг–экв/дм^3 в декабре.

Концентрация иона NH_4^+ в осадках в течение года была значительной, колебалась от 57 в июне до 89 мкг–экв/дм^3 в сентябре и имела устойчивый положительный тренд от марта к сентябрю со значительными колебаниями по месяцам. Это связано с усилением сельскохозяйственной деятельности в этот период года. В октябре – ноябре она несколько снижалась, но была достаточно высокой в декабре – январе (79–80 мкг–экв/дм^3).

Величина **pH** атмосферных осадков в течение года по среднемесячным логарифмическим взвешенным на объем осадков данным менялась от 4,86 (март) до 5,57 (октябрь), рисунок 3.10. Ее значения были минимальными в зимние месяцы и в марте (pH ниже 5), что связано с отопительным сезоном и подкислением осадков при сжигании топлива. Следует отметить довольно низкую среднюю многолетнюю величину pH осадков в июне (5,0). Иногда ее значения опускались ниже 4, что вызывало значительные повреждения листового аппарата в отдельные годы и связано с дальним переносом поллютантов [Криваковська та ін., 2013; Станкевич и др., 2013].

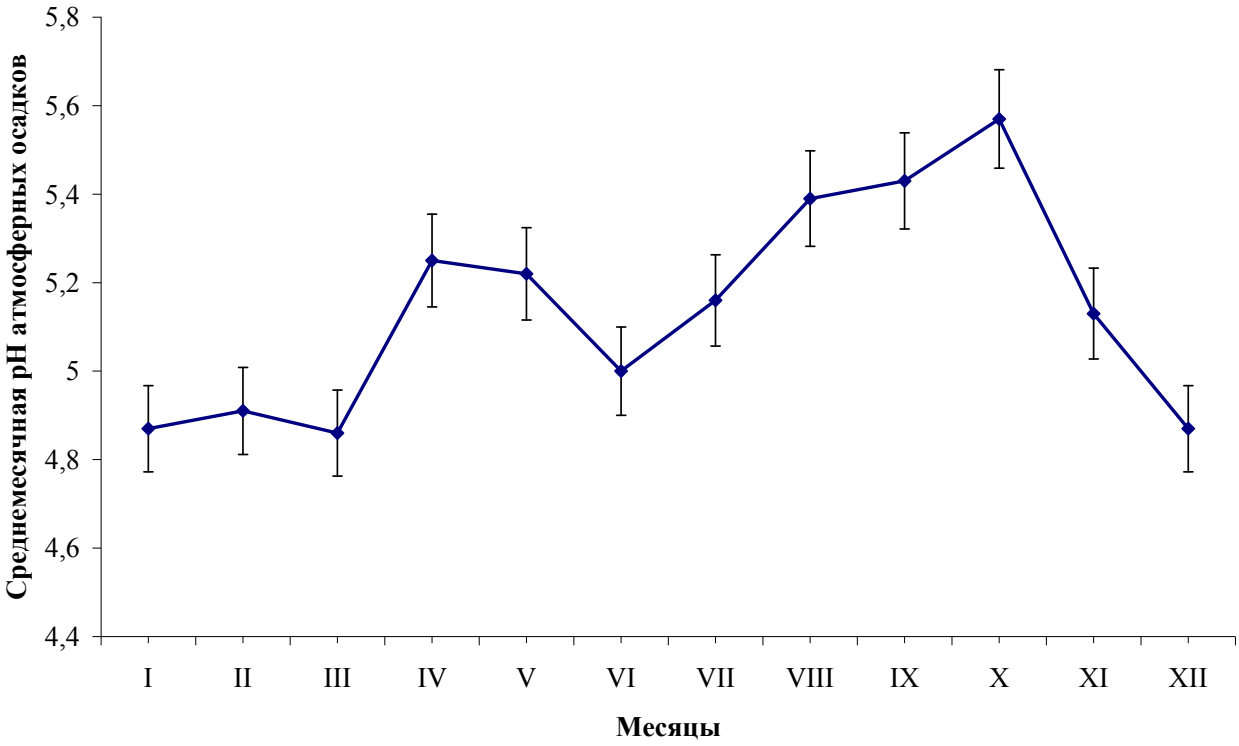

Рисунок 3.10. Изменение средней многолетней величины pH атмосферных осадков по месяцам года, среднее за (1995–2008 гг.)

В августе и осенью среднемесячные величины pH осадков были максимальными и колебались от 5,13 до 5,57. Следовательно, наиболее значительное подкисление осадков в среднем за 14 лет наблюдений происходило в холодное время года.

В целом за год изменения величины pH имели стойкую тенденцию к увеличению от января к октябрю, затем она резко снижалась от ноября к январю. Закономерность изменения величины pH в течение года описывается уравнением (5) параболы шестого порядка:

$$Y = 0{,}0001\,x^6 - 0{,}0046\,x^5 + 0{,}0703\,x^4 - 0{,}52\,x^3 + 1{,}904\,x^2 - 3{,}0805\,x + 6{,}5223, \qquad (5)$$

$R^2 = 0{,}86$, $p \leq 0{,}05$

где Y — среднемесячная логарифмическая взвешенная на объем величина pH атмосферных осадков; x — номер месяца года.

Пользуясь уравнением (5) можно прогнозировать среднемесячную величину pH атмосферных осадков, если их измеренные значения находятся в пределах 3,85–7,28.

Если сравнить два периода исследований, то во второй восьмилетний период в июне и июле отмечаются самые низкие в году средние величины pH, которые составляют 4,57 и 4,35 соответственно, тогда как в первые 6 лет наблюдений в эти месяцы они соответственно составляли 5,58 и 6,18. Следовательно, в последние годы проявились дополнительные источники подкисления атмосферных осадков, такие как увеличение потока транспорта, местные источники выбросов хлора и другие.

Установлена достоверная отрицательная зависимость между концентрацией иона NO_3^- в осадках и величиной их pH по месяцам года ($r = -0,64$, $n = 12$). Следовательно, в пределах годового цикла осадки в большей мере подкислялись за счет роста концентрации нитратного иона.

3.2. Зависимость величины pH атмосферных осадков от концентрации их основных примесей

Очевидно, что состав химических примесей определяет величину pH атмосферных осадков. Если судить по исходным данным (рисунки 3.3 и 3.4), то видно, что снижение величины pH во времени может быть вызвано соответствующим ростом концентрации ионов NO_3^- и Cl^- от года к году. Корреляционный анализ среднемесячных взвешенных на объем осадков данных за 14 лет наблюдений показал обратную достоверную корреляцию между величиной pH атмосферных осадков и концентрациями ионов NO_3^- и Cl^-, в целом за весь год (таблица 3.5). В теплый период года зависимость pH от концентрации сульфатного иона в осадках была положительной слабой, с остальными ионами, которые изучали, установлена отрицательная слабая зависимость, существенная на 5% уровне значимости для нитратного иона, но коэффициент корреляции был ниже, чем для зависимости этих показателей в целом за год. В холодный период

года отрицательные средние достоверные корреляции установлены между величиной pH осадков и содержанием сульфатного и нитратного ионов.

Таблица 3.5 – Зависимости величины pH от содержания ионов в атмосферных осадках по среднемесячным взвешенным на объем осадков данным (1995–2008 гг.)

Период года	Число наблюдений	Концентрация ионов в осадках, мкг-экв/дм^3			
		SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	NH_4^+
Весь год	135	–0,13	–0,34***	–0,23**	0,06
Теплый период	73	0,12	–0,27*	–0,20	–0,15
Холодный период	62	–0,33*	–0,42**	–0,22	0,09
* корреляционная связь существенна, $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.					

Таким образом, по результатам многолетних наблюдений подкисление атмосферных осадков в течение года и в теплый период года происходило в основном за счет загрязнения их нитратными и хлоридными ионами, в холодный период подкисление было вызвано примесью сульфатного и нитратного ионов. Это подтверждается и установленной прямой достоверной зависимостью между концентрациями последних двух ионов в осадках в холодный период года ($r = 0,57$, $n = 67$), что свидетельствует об одном источнике поступления их в атмосферные осадки.

Содержание ионов Cl^- и NH_4^+ в меньшей степени влияло на величину pH атмосферных осадков в целом за 14 лет, так как, входя в состав различных солей, эти ионы могли, как подкислять, так и подщелачивать осадки в разные годы, и их влияние взаимно исключалось при расчетах. Однако в отдельные годы (2001 и 2002, холодный период) эта связь была сильной обратной ($r = –0,82$ и $–0,98$ соответственно при $n = 4$). В 2004 г. в холодный период, и в целом за год, эта связь была прямой сильной достоверной ($r = 0,94$ при $n = 6$ и $r = 0,77$ при $n = 9$ соответственно).

В связи с тем, что средние концентрации основных подкисляющих ионов и особенно NO_3^- и Cl^- были различными в двух периодах исследований, мы

рассчитали коэффициенты корреляции между величиной pH и концентрацией основных загрязняющих ионов отдельно для каждого из этих периодов (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Коэффициенты корреляции и зависимости величины pH осадков (y) от концентрации ионов (x) в различные годы и периоды исследований, n = 21–28

Ионы (x)	1995–2000 гг. в периоды		2001–2008 гг. в периоды	
	холод-ный	теплый	холодный	теплый
$[SO_4^{2-}]$ (x_1)	–0,25	–0,52 ± 0,19* y = 6,59 –0,006 x	–0,60 ± 0,17** y = 5,50 – 0,002 x_1	–0,40
$[NO_3^-]$ (x_2)	–0,04	–0,17	–0,50 ± 0,19* y = 5,52 – 0,006 x_2	–0,02
Cl^-	–0,09	–0,34	0,07	–0,33
$[SO_4^{2-} + NO_3^-]$ (x_3)	–0,16	–0,34	–0,64 ± 0,17*** y = 5,58 – 0,002 x_3	–0,34
$[SO_4^{2-} + NO_3^- + Cl^-]$ (x_4)	–0,28	–0,37	–0,74 ± 0,15*** y = 5,77 – 0,002 x_4	–0,08
* Корреляционная связь существенна, $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.				

В первые шесть лет наблюдений в холодный период года указанные коэффициенты были достаточно низкими, и связь была недостоверной. В период с 2001 по 2008 г. эта связь была более тесной обратной достоверной для ионов SO_4^{2-} и NO_3^-. Если судить по коэффициентам корреляции, ион SO_4^{2-} в большей мере способствовал подкислению осадков. В связи с тем, что ионы SO_4^{2-} и NO_3^- одновременно подкисляли осадки, мы прокоррелировали сумму их концентраций с величиной pH и обнаружили еще более тесную обратную существенную на 1%-ном уровне связь для холодного периода 2001–2008 гг. (таблица 3.6). Так как ион хлора в последние годы также способствовал подкислению осадков, мы суммировали концентрации ионов $SO_4^{2-} + NO_3^- + Cl^-$ и включили эти данные в корреляционный анализ. Оказалось, что связь между pH осадков и суммой этих ионов в холодное время этого периода исследований была еще более тесной и

достоверной. Следовательно, можно утверждать, что в холодные периоды 2001–2008 гг. подкисление осадков было связано с суммой ионов SO_4^{2-}, NO_3^- и Cl^-.

Приведенные в таблице 3.6 уравнения регрессии позволяют прогнозировать величину pH атмосферных осадков, зная концентрации в них указанных ионов.

В теплое время года в первый шестилетний период исследований наблюдалась средняя обратная достоверная зависимость величины pH атмосферных осадков от концентрации сульфатных ионов. Для остальных изученных ионов отмечена тенденция к подкислению осадков с увеличением их концентрации. Во второй восьмилетний период в осадках теплого периода года не обнаружено достоверной зависимости между концентрациями кислотообразующих ионов, а также их суммой и величиной pH.

Таким образом, величина pH атмосферных осадков определялась, в основном, содержанием ионов SO_4^{2-}, NO_3^- и Cl^- и зависела как от периода года, так и срока наблюдений. В целом, за 14 лет наблюдений в теплый период года величина pH в большей мере зависела от концентрации иона NO_3^-, в холодный период, как от SO_4^{2-}, так и от NO_3^- ионов. В первые шесть лет наблюдений не обнаружено тесной достоверной связи pH осадков с изученными ионами в холодный период года. В теплый период подкислению осадков способствовал ион SO_4^{2-}. Во второй восьмилетний период (2001–2008 гг.) ионы SO_4^{2-} и NO_3^- (существенно), Cl^- (незначительно) подкисляли осадки. Наиболее тесная и существенная связь величины pH и суммы ионов $SO_4^{2-} + NO_3^- + Cl^-$ установлена для холодного периода этого отрезка времени. Рассчитанные уравнения регрессии позволят прогнозировать подкисление осадков при определенных концентрациях загрязняющих ионов.

При анализе больших массивов данных за 14 лет и усреднении величин, корреляционный анализ не всегда показывает тесные зависимости величины pH от концентрации кислотообразующих ионов (таблица 3.5). Необходим более подробный анализ связей величины pH с большим числом ионов, которые при взаимодействии друг с другом могут образовывать соединения, вызывающие при гидролизе подкисление осадков. С этой целью мы проанализировали зависимости

величины pH от концентрации различных ионов в осадках за 2004–2005 гг., когда их химический состав определялся более подробно.

Анализ полученных данных показал, что концентрация большинства ионов в осадках за 2004 год была выше, чем в 2005 г., что подтверждают данные минерализации осадков (таблица 3.7). Существенные различия между годами отмечены в содержании ионов NH_4^+, K^+ и HCO_3^-, содержание которых было большим в 2004 г. В среднем, за два года в большей степени осадки были загрязнены ионами HCO_3^- и Ca^{2+}, что обусловлено выветриванием и процессами дефляции карбонатных почв. Достаточно высокой была и концентрация иона NH_4^+, что характерно для сельскохозяйственного района. В меньших количествах в осадках присутствовали ионы NO_3^- и K^+. В среднем, за два года величина pH осадков составила 5,15 и мало менялась по периодам года. Измеренные ее значения колебались от 4,02 до 6,65. Осадки с pH менее 5 составили примерно половину случаев (49,2%). В холодный период года осадки с таким pH встречались реже (47%), в теплый — чаще (52%). Следовательно, в теплое время года осадки чаще были кислыми, что показало противоположную тенденцию данным 1994–2001 гг. [Клименко, Клименко, 2004].

В теплый период года в осадках также преобладали ионы Ca^{2+} и HCO_3^-. Последнего было на 22 мкг–экв/дм^3 больше, чем в холодный период. Это связано с дополнительным поступлением иона Ca^{2+} в осадки с почвенной пылью в теплый период года. Концентрации ионов NH_4^+ и SO_4^{2-} в этот период были выше, чем в холодное время, натрия — почти вдвое и достоверно ниже. Концентрации K^+, Mg^{2+}, NO_3^- и Cl^- были почти одинаковыми в теплое и холодное время года.

В теплый период года минерализация осадков была высокой и превышала сумму ионов, загрязняющих осадки в холодное время на 4 мг/л, в основном за счет гидрокарбонатов кальция. Все это свидетельствует о большем загрязнении осадков в данном районе в теплый период года, как за счет пыли, так и активизации сельскохозяйственной деятельности и движения автотранспорта.

Таблица 3.7 – Состав химических примесей в атмосферных осадках (2004–2005 гг.)

Период, диапазон pH	Число наблю-дений	pH	NH_4^+	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	NO_3^-	HCO_3^-	Cl^-	Минера-лизация, мг/дм^3
			мкг–экв/дм^3									
2004	31	5,07	79 ± 3	31 ± 4	48 ± 6	100 ± 7	90 ± 8	64 ± 9	36±3	128±10	48 ± 6	21,55
2005	36	5,22	49±7***	20±3***	36 ± 6	105 ±10	73 ± 8	65±10	34±3	80±10***	55 ± 6	17,46
Среднее за 2 года	67	5,15	65 ± 4	25 ± 2	42 ± 4	102 ± 6	80 ± 6	64 ± 7	35±2	102±7	52 ± 4	19,32
pH < 5	33	4,62	60 ± 4	27 ± 4	48 ± 7	106 ± 8	77 ± 7	69±10	38±3	91±11	56 ± 7	19,40
pH > 5	34	5,66	70 ± 7	24 ± 3	36 ± 6	100 ±10	84±10	61 ± 8	32±2	113±10	48 ± 4	19,48
Холодный период	34	5,16	59 ± 6	24 ± 4	51 ± 6	92 ± 6	78 ± 6	57 ± 6	35±3	80±9	53 ± 5	17,44
pH < 5	16	4,63	61 ± 8	26 ± 7	70 ± 10	91 ± 7	82 ± 9	53 ± 7	41±5	76±17	54 ± 9	18,08
pH > 5	18	5,64	57 ± 8	22 ± 3	33 ± 6*	93 ± 11	73 ± 9	60±11	30±3	83±9	52 ± 6	16,98
Теплый период	33	5,14	70 ± 6	27 ± 4	33± 6**	114 ±11	84±10	73±11	36±3	125±11**	50 ± 6	21,42
pH < 5	17	4,62	58 ± 6	25 ± 5	28 ±7	119±13	72±11	84±18	36±4	105±13	57±11	19,51
pH > 5	16	5,69	82 ± 10*	25 ± 5	38 ± 10	108±18	96±18	61±10	35±4	146±16	43 ± 6	22,11

* Разница со значениями в диапазоне pH < 5 соответствующего периода года существенна, $p \le 0,05$; ** разница со значениями холодного периода существенна, $p \le 0,05$; *** разница с 2004 г. существенна, $p \le 0,05$.

Если рассмотреть содержание ионов в осадках при различной величине pH, то видно, что минимальные концентрации большинства ионов обнаружены при pH в пределах 5,0–5,2 (рисунок 3.11).

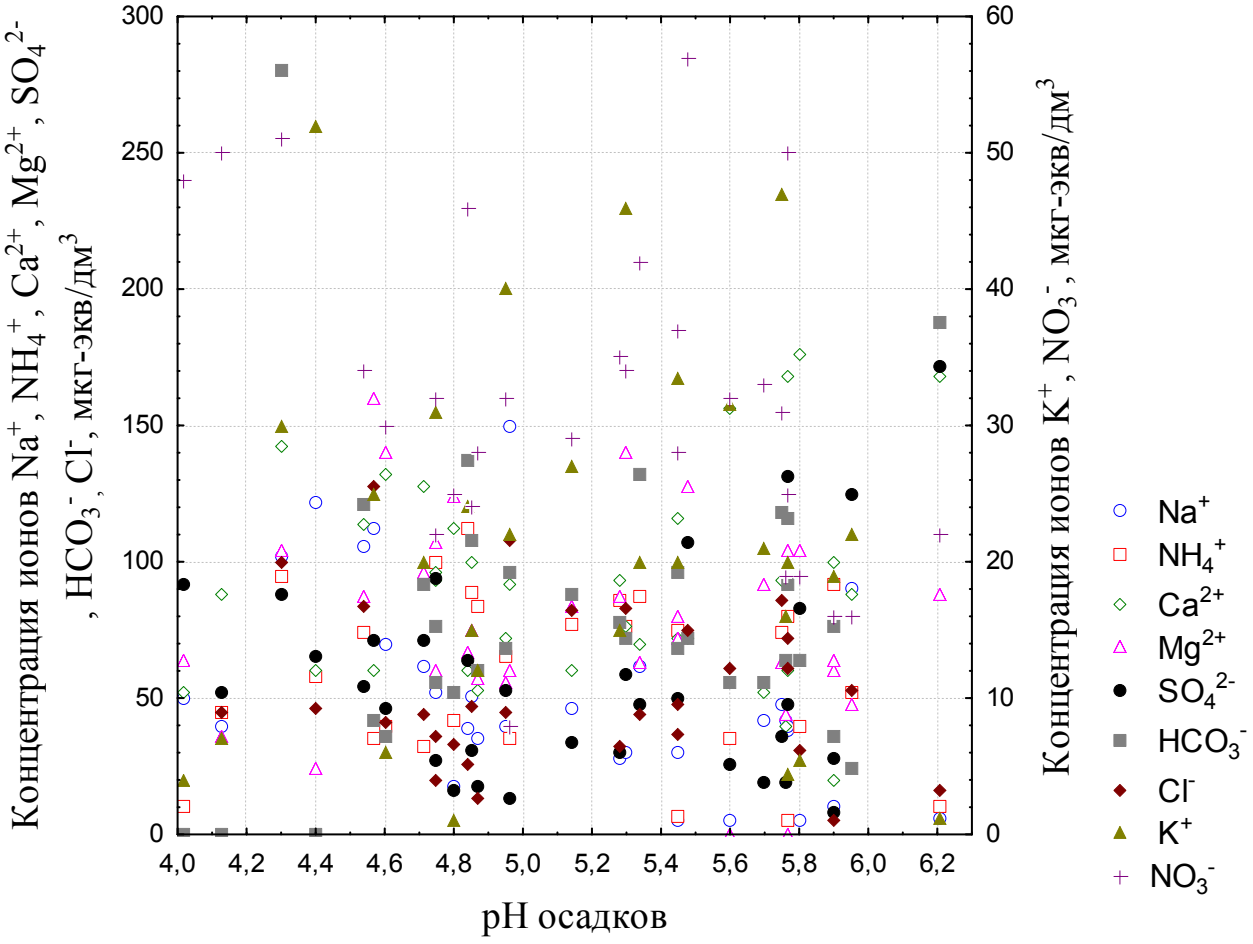

Рисунок 3.11. Химический состав атмосферных осадков при различной величине pH (2004–2005 гг.)

Это значит, что наиболее чистые от химических примесей осадки имели такие величины pH. С ростом величины pH от 5,20 до 6,65 резко увеличивалось содержание ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} до 240 и 232 мкг–экв/дм^3 соответственно и HCO_3^- до 264 мкг–экв/дм^3. При снижении pH осадков от 5,00 до 4,02 значительно возрастала еще и концентрация ионов SO_4^{2-} NO_3^- и Cl^-. Следовательно, эти ионы или соли, в состав которых они входят, в основном и способствовали подкислению осадков. В целом зависимости величины pH от содержания различных ионов в осадках были сложными параболическими. Для того чтобы упростить их, мы подразделили полученные данные на несколько массивов. Это

данные за холодный и теплый периоды и в каждом из них осадки с pH больше и меньше 5. Среднегодовые концентрации ионов и минерализация осадков в этих диапазонах pH мало различались между собой (таблица 3.7) и в дальнейшем не рассматриваются.

Что касается сезонов года, то концентрации ионов в холодный период при pH < 5 были более высокими у ионов Na^+ (существенно), Mg^{2+} и NO_3^-. Поэтому, вероятно, подкислению осадков могли способствовать как азотная кислота, так и соль $Mg(NO_3)_2$, которая является гидролитически кислой. Содержание сульфатного и гидрокарбонатного ионов было выше при pH > 5, которые в данном случае способствовали нейтрализации кислотности. Причем минерализация осадков в диапазоне pH < 5 была на 1,1 мг/дм^3 выше, чем в диапазоне pH > 5 в этот период года.

В теплый период года при pH < 5 среди ионов также преобладали ионы Ca^{2+} и HCO_3^-, но их концентрации были значительно выше, чем в том же диапазоне холодного периода года. Содержание ионов SO_4^{2-}, Cl^- и Ca^{2+} также было выше на 23, 14 и 11 мкг–экв/дм^3 соответственно. Это говорит о большей вероятности подкисления осадков в теплый период за счет сульфата кальция, а также соляной и серной кислот.

При pH > 5 в осадках в теплый период накапливалось больше ионов HCO_3^- и NH_4^+ (достоверно), чем при pH < 5. Следовательно, они способствовали подщелачиванию осадков в теплое время года. Концентрации иона K^+ практически не различались в изученных диапазонах значений pH каждого из периодов года, иона NO_3^- — в теплый период года (таблица 3.7).

Прямолинейные корреляционные зависимости концентрации ионов водорода от содержания большинства ионов в осадках за весь год в среднем за 2004–2005 гг. были слабыми (таблица 3.8). И только с ионами NO_3^- и Cl^- они были положительными достоверными. Следовательно, эти ионы способствовали подкислению осадков в целом за год. В холодный период установлена более тесная связь между концентрациями ионов H^+ и NO_3^-, чем в целом за год.

Таблица 3.8 – Коэффициенты корреляции между концентрацией иона водорода и содержанием ионов в атмосферных осадках (2004–2005 гг.)

Ионы	За весь год H^+ (n = 66)	За холодный период			За теплый период		
		H^+ (n = 34)	диапазон pH		H^+ (n = 32)	диапазон pH	
			pH < 5 (n = 16)	pH > 5 (n = 18)		pH < 5 (n = 17)	pH > 5 (n = 15)
NH_4^+	–0,17	–0,20	–0,43	–0,06	–0,13	0,36	0,47
K^+	0,04	0,10	0,04	–0,12	0	–0,21	–0,11
Na^+	0,08	0,30	0,11	–0,20	–0,26	–0,30	–0,25
Ca^{2+}	–0,05	–0,10	–0,17	0,15	0,08	0,06	–0,33
Mg^{2+}	–0,17	–0,03	–0,23	0,34	–0,34	–0,29	–0,75**
SO_4^{2-}	0,09	0,15	0,50*	0,31	0,11	0	–0,60*
NO_3^-	0,31*	0,54**	0,49	0,17	0,10	0,27	–0,70**
HCO_3^-	–0,24	–0,20	–0,28	0,62**	–0,29	0,07	–0,63*
Cl^-	0,28*	0,12	0,18	–0,08	0,41*	0,42	0,58*
* корреляционная связь существенна, $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$.							

В этот период года она была положительной средней достоверной. Это может свидетельствовать о подкислении осадков в холодный период года за счет увеличения концентрации в них нитратного иона. В различных диапазонах pH этого периода года разные ионы способствовали подкислению осадков. При pH < 5 установлена положительная средняя корреляция между концентрациями водородного иона и ионов NO_3^- и SO_4^{2-}, для последнего — достоверная. Сумма этих ионов также способствовала достоверному повышению кислотности осадков (r = 0,51, n = 16). В диапазоне pH > 5 ион HCO_3^- способствовал подкислению осадков. Установлена также средняя положительная достоверная зависимость между концентрацией иона водорода и суммой анионов в осадках (r = 0,49, n = 18).

В целом, за теплый период года связь концентрации иона H^+ с другими ионами была в большинстве случаев слабой и недостоверной и только с катионом хлора установлена прямая средняя достоверная зависимость (таблица 3.8). В диапазоне pH < 5 теплого периода не выявлено парных тесных достоверных зависимостей между концентрациями водородного иона и ионов, загрязняющих осадки. Это связано с тем, что эти зависимости были криволинейными, а также

зависело от состава солей, в которые входили те или другие ионы. Так зависимость между содержанием ионов водорода и гидрокарбонатных ионов была близка к параболе шестого порядка (рисунок 3.12 А). Причем при росте концентрации иона HCO_3^- от 30 до 100 мкг–экв/дм^3 происходило подкисление осадков с 20 до 50 мкг–экв/дм^3, что соответствует величине pH в пределах 4,30–4,65. Это говорит о том, что подкисление осадков в диапазоне pH менее 5,65 (равновесная величина pH дистиллированной воды, находящейся в соприкосновении с атмосферным воздухом при нормальных условиях) связано с диссоциацией угольной кислоты по уравнению (6):

$$[H^+] = \frac{K \cdot H_2CO_3}{[HCO_3^-]} \qquad (6)$$

Этот процесс описывается уравнением параболы, коэффициент детерминации которой составляет 0,72 (рис. 3.12 Б), что может свидетельствовать о наибольшем подкислении осадков угольной кислотой в холодный период, так как растворимость CO_2 в воде при 0 ^oC вдвое выше, чем при 20^o [Глинка, 1985]. При увеличении концентрации иона HCO_3^- со 110 до 190 мкг–экв/дм^3 обнаружена еще более сложная зависимость между его содержанием и концентрацией водородного иона в осадках (рисунок 3.12 В).

При pH > 5 в теплый период года установлена средняя и сильная достоверная отрицательная связь концентраций иона H^+ и ионов Mg^{2+}, NO_3^-, SO_4^{2-} и HCO_3. С ионом Cl^- связь была положительной средней достоверной (таблица 3.8). Следовательно, подкислению осадков могли способствовать соли $MgSO_4$ и $Mg(NO_3)_2$, которые являются гидролитически кислыми [Singh, 2001], а также угольная кислота.

В связи с тем, что кислотность осадков зависела не от концентрации каждого иона в отдельности, а от их сочетания и совместного влияния, мы рассчитали уравнение множественной прямолинейной регрессии, которое описывает зависимость концентрации ионов водорода в осадках от состава химических примесей в этот период (уравнение 7):

$$[H^+] = 0{,}03[Na^+] - 0{,}03[Mg^{2+}] - 0{,}08[SO_4^{2-}] + 0{,}09[Cl^-] + 0{,}04\,[HCO_3^-] - 0{,}23 \qquad (7)$$

$R^2 = 0{,}941$, $p < 0{,}001$.

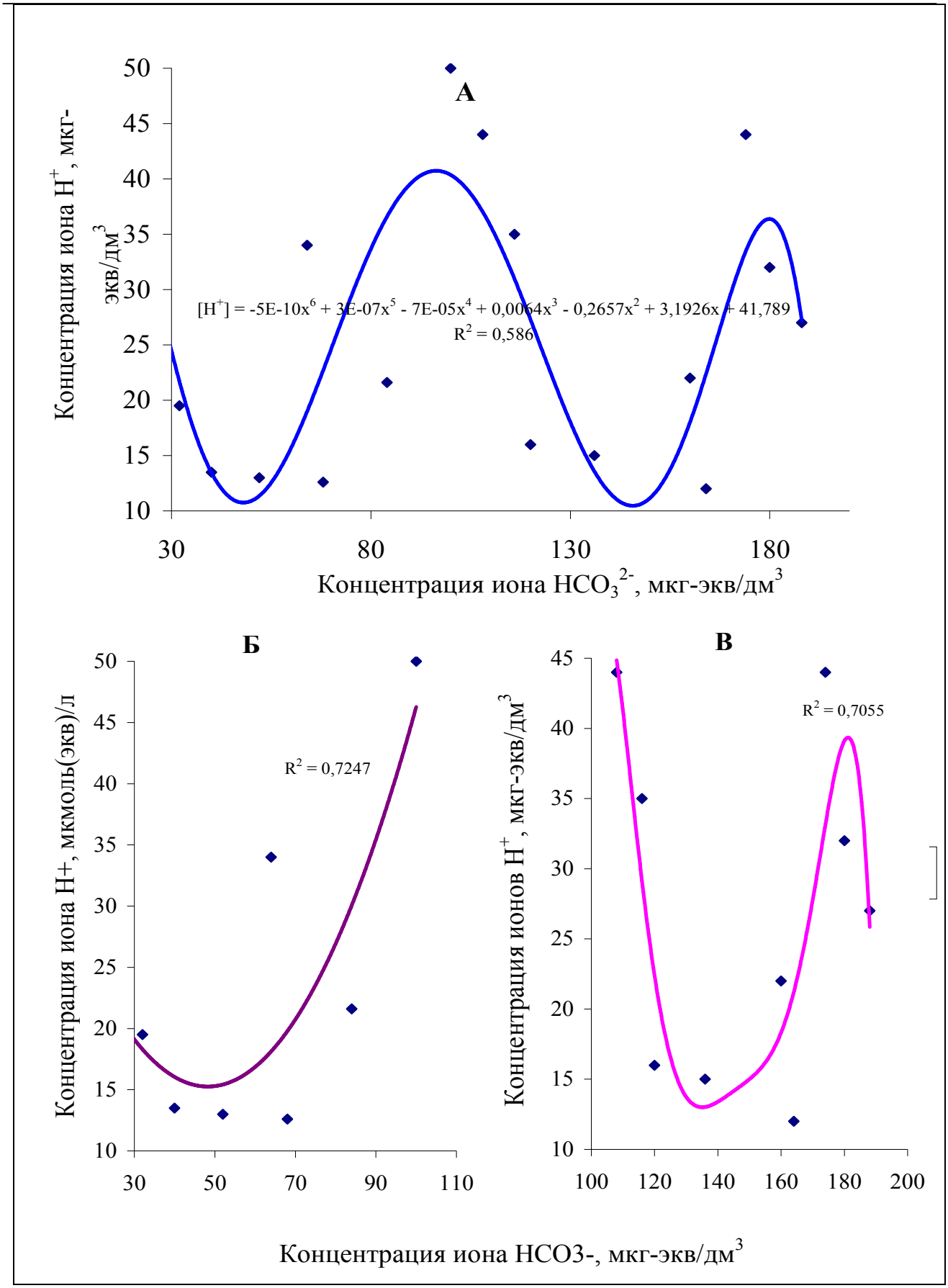

Рисунок 3.12. Зависимости концентрации иона H^+ от содержания иона HCO_3^- в атмосферных осадках в степном Крыму, (2004–2005 гг.)

Высокий коэффициент детерминации этого уравнения указывает на тесную связь концентрации ионов водорода с концентрациями основных загрязняющих осадки ионов, достоверную с вероятностью 99,9%. Уравнение (7) показывает, что при pH > 5 ионы Na^+, Cl^- и HCO_3^- в пределах их концентраций 0–117, 3–84, 40–264 мкг–экв/дм^3 соответственно, при увеличении их концентрации на 1 мкг–экв/дм^3 увеличивали концентрацию ионов водорода на 0,03; 0,09 и 0,04 мкг–экв/дм^3. Ионы SO_4^{2-} и Mg^{2+} способствовали подщелачиванию атмосферных осадков на 0,08 и 0,03 мкг–экв/дм^3 при увеличении их концентрации на 1 мкг–экв/дм^3 в диапазоне концентраций 0–232 и 0–146 мкг–экв/дм^3 соответственно. Возможно, в теплый период года эти ионы входили в состав пыли, когда ее содержание в воздухе значительно выше, чем в холодный период, из-за интенсивной обработки почвы преимущественно в сухом состоянии.

Таким образом, в разные периоды года и в разных диапазонах pH подкисление осадков обусловливали разные ионы и соли. В холодный период 2004–2005 гг. этому способствовали азотная кислота и соль $Mg(NO_3)_2$. В теплый период года в пределах величин pH 4,30–4,65 осадки подкислялись ростом концентрации угольной кислоты. Более низкие величины pH в этот период связаны с присутствием в осадках сульфата кальция, соляной и серной кислот. Полученное уравнение множественной регрессии позволяет прогнозировать концентрацию водородного иона в осадках, зная состав химических примесей в широком диапазоне их концентраций в теплый период года.

3.3. Реакция плодовых растений рода *Prunus* L. на воздействие кислотных осадков на морфологическом уровне

Плодовые растения признаны чувствительными к загрязнению воздуха [Физиология плодовых…, 1983; Singh, 1994; Bell, 2002], однако влияние на них именно КО изучено недостаточно. Это обусловлено распространенной среди экологов точкой зрения о том, что садоводство не следует развивать в промышленных загрязненых районах, поэтому и реакцию плодовых растений на

данное загрязнение изучать нецелесообразно. Однако дальний перенос загрязняющих веществ, а также развитие точечных источников загрязнения (транспорт, автономные котельные), отрицательно влияют на эти растения даже в относительно чистых сельскохозяйственных районах.

Немногочисленные исследования воздействия КО на плодовые растения, проведенные в 80–90-х годах прошлого века, касались в основном *M. domestica*, *Vitis vinifera* L. и *Citrus* L. [Колесова, Чмырь, 1996; Forsline et al., 1983, 1983a; Proctor, 1983; Rinallo et al., 1993]. Реакция плодовых растений на КО, особенно представителей рода *Prunus*, агроценозы которых занимают значительные площади на юге Европы, изучена фрагментарно [Николаевский, 1979; Тарабрин и др., 1986; Левон, 2014; Poniedzialek, Nosal, 1985; Hasebe et al., 1987]. Известно, например, что *P. persica* имеет среднюю устойчивость к загрязнению воздуха SO_2 [Физиология плодовых…, 1983].

В связи с этим в нашу задачу входило всестороннее изучение реакции косточковых плодовых растений, агрофитоценозы которых широко распространены в Крыму, на воздействие КО различного состава и величины pH, с целью определения их устойчивости и адаптивности в этих неблагоприятных экологических условиях.

3.3.1. Повреждение цветков кислотными осадками

Важным периодом жизни растения в годовом цикле является цветение. Кислотные осадки (КО), выпавшие в период цветения, могут уничтожить цветок, повредить пыльцу пестики и значительно уменьшить число плодов. Установлено, что воздействие ИКД на растения *P. persica* в период цветения не вызывало видимых повреждений лепестков при всех изученных уровнях pH дождя у сортов ‘Фаворита Моретти’ и ‘Докторский’.

У ‘Фаворита Моретти’ ИКД сульфатного состава с pH 3 и 2 повреждал пестики. При этом в результате повреждения кислотой погибло 52 и 67% пестиков соответственно.

У *P. armeniaca* ‘Приусадебный’ при обработке ИКД сульфатного состава с pH 2 появлялись бурые пятна на лепестках большинства цветков и дальнейшее их увядание. Отдельные бурые пятна и точки отмечены при pH 3 и 4. У растений *P. cerasifera* ‘Обильная’ и ‘Субхи Ранняя’ воздействие ИКД с pH 2 в период цветения вызвало появление бурых мелких пятен на лепестках (‘Обильная’), их скручивание и высыхание (‘Субхи Ранняя’). У сорта ‘Обильная’, кроме того, отмечался красноватый оттенок лепестков и их увядание. При этом происходило повреждение пестиков, они становились бурыми, после чего чернели и обламывались. У сорта ‘Субхи Ранняя’ при этой величине pH ИКД пестики и тычинки не изменялись. При более высоком pH ИКД (в пределах 3–5) в период кратковременного острого воздействия изменений в состоянии цветков растений *P. cerasifera* не отмечено.

У обоих изученных сортов *P. domestica* не выявлено видимых повреждений лепестков и других органов цветка в пределах исследованных величин pH ИКД.

Следовательно, КО в период цветения способны повредить и уничтожить генеративные органы плодовых растений, причем цветки *P. persica* и *P. armeniaca* были более чувствительными к КД, чем *P. cerasifera* и *P. domestica*.

3.3.2. Изменение состояния листового аппарата под действием кислотного дождя

КО в период вегетации растения воздействуют, прежде всего, на листовой аппарат. Исследованиями установлено, что повреждения на листьях полностью проявлялись на 3–5 день после воздействия стрессора и имели вид пятен и точек размером от 1 до 10 мм в диаметре. У растений *P. persica* пятна были цвета слоновой кости, нередко с красновато-бурым краем. В дальнейшем ткани пятна бурели и нередко выпадали с образованием дырок и рваного края листа (рисунок 3.13). У *P. armeniaca* пятна и точки на листьях, вызванные ИКД, были бурыми с темно-бурым краем диаметром 0,5–5,0 мм по всей площади листовой пластинки и особенно по ее краю (рисунок 3.14).

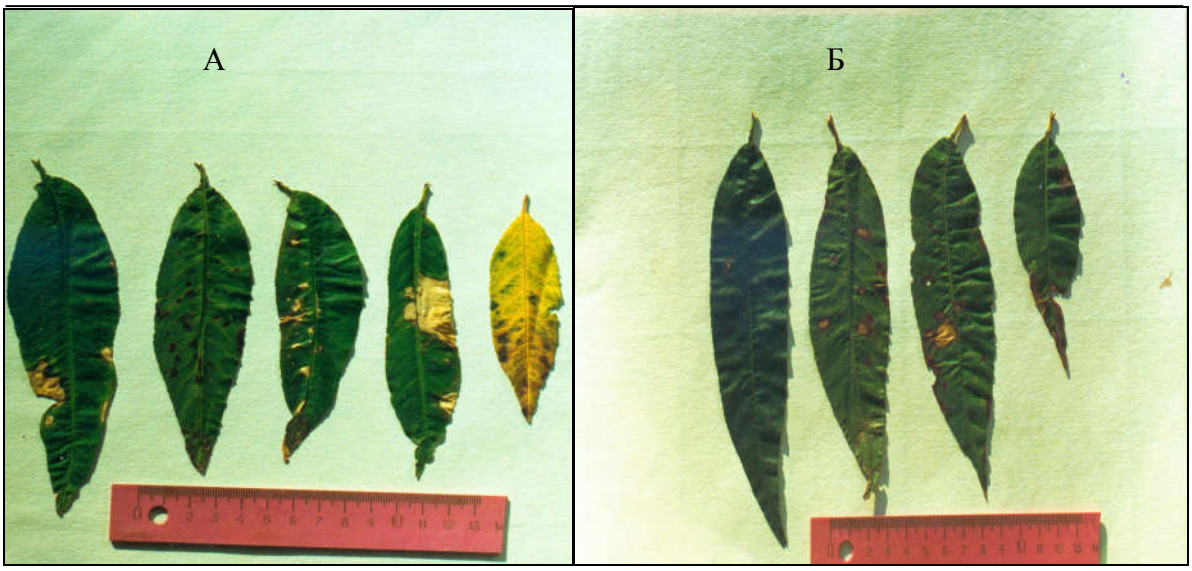

Рисунок 3.13. Повреждения вызванные искусственным кислотным дождем на листьях *P. persica* ‘Фаворита Мореттини’ (А) и ‘Докторский’ (Б) в условиях модельного опыта, 1997 г.

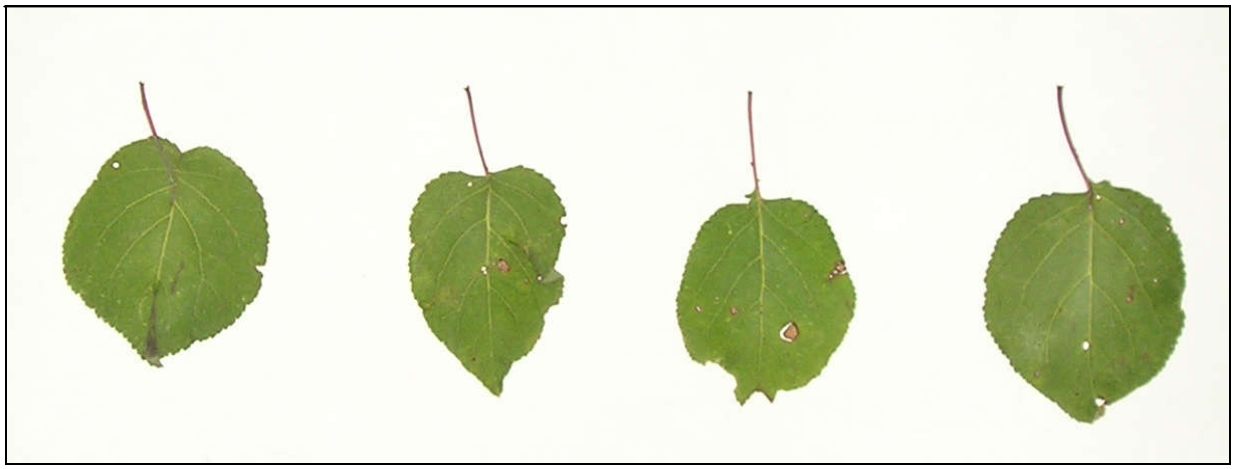

Рисунок 3.14. Повреждения от искусственным кислотным дождем на листьях *P. armeniaca* ‘Приусадебный’ в условиях модельного опыта, СО НБС — ННЦ, 2003 г.

У растений *P. cerasifera* ‘Субхи Ранняя’ при обработке ИКД с pH 2 пятена и точки на листьях не появлялись, однако нижние и средние листья приобретали желтоватый оттенок, выглядели «старыми», обесцвеченными. На листьях *P. domestica* ‘Стенлей’ лишь в конце вегетационного периода после пяти обработок ИКД с pH 2 появились редкие мелкие точки цвета слоновой кости, ткань которых вскоре выпадала с образование мелких дырок (рисунок 3.15).

Рисунок 3.15. Повреждения на листьях *P. domestica* ‘Стенлей’, вызванные искусственным кислотным дождем, в условиях модельного опыта, 2005 г.

У всех плодовых пород пятна некротической ткани со временем выпадали с образованием дырок и рваного края листа. В большей мере повреждались старые (нижние) листья, которые вскоре желтели и опадали (рисунок 3.13). Состав ИКД не влиял на характер повреждений, менялась лишь их площадь.

У растений *P. persica* ИКД с pH 2, независимо от состава, вызывал видимые повреждения листьев. С увеличением количества обработок ИКД количество пятен на листьях возрастало и после окончания интенсивного роста побегов (август) было максимальным. Их площадь и число поврежденных листьев зависело от сорта и состава дождя (таблица 3.15).

В сентябре площадь повреждений на оставшихся листьях вновь снижалась за счет раннего листопада сильно поврежденных листьев. ИКД сульфатного состава сильнее повреждал листовой аппарат обоих сортов, чем нитратного. В последнем случае площадь, занятая повреждениями, была в 1,2–1,7 раза меньше, чем в первом.

У растений ‘Фаворита Моретти’ после трех обработок ИКД площадь повреждений, выраженная в процентах от площади листовой пластинки, была более значительной, чем у ‘Докторского’. При ИКД нитратного состава этот показатель у обоих сортов был в 2–5 раз ниже, чем при сульфатном составе ИКД.

Следовательно, дождь сульфатного состава при той же величине pH действовал более токсично. Это связано с воздействием аниона кислоты, так как концентрация водородных ионов в растворе при равном pH была одинаковой.

Таблица 3.15 – Повреждение листьев *P. persica* ИКД с pH 2, 1997 г.

Дата	‘Фаворита Моретти’			‘Докторский’		
	% листьев с повреждениями	Площадь повреждений		% листьев с повреждениями	Площадь повреждений	
		$мм^2$	% площади листовой пластинки		$мм^2$	% площади листовой пластинки
ИКД с H_2SO_4						
05.06	10	30	1,00	0	0	0
07.07	64	47	1,21	46	83	2,24
06.08	98	110	2,96	88	85	2,27
12.09	100	27	0,67	98	34	0,75
ИКД с HNO_3						
05.06	9	15	0,51	0	0	0
07.07	58	22	0,64	10	20	0,49
06.08	72	21	0,60	80	17	0,42
12.09	100	17	0,43	100	11	0,26

По итогам четырех лет наблюдений установлено, что при воздействии ИКД с pH 2 у сорта ‘Фаворита Моретти’ в конце периода интенсивного роста побегов было больше поврежденных листьев независимо от состава дождя, чем у сорта ‘Докторский’. При этом повреждения имели большую площадь на листовой пластинке. Это свидетельствует о разной устойчивости этих сортов к КО [Клименко и др., 2008].

ИКД с pH 3 вызывал видимые повреждения листьев в период окончания интенсивного роста побегов, но они были незначительными на 2–26% листьев и занимали от 0,10 до 0,24% площади листовой пластинки. Характер проявления их был аналогичен воздействию дождя с pH 2 [Клименко и др., 2008]. ИКД с pH 4 и 5 не вызывал видимых повреждений листьев при любом составе дождя. Следовательно, сорт ‘Докторский’ по степени повреждения листьев оказался

более устойчивым к ИКД однокомпонентного состава, чем ‘Фаворита Мореттини’.

ИКД смешанного состава с pH 4 при всех соотношениях кислот и с pH 3 при соотношении серной и азотной кислот 1:1 не вызывал видимых повреждений на листьях ‘Фаворита Мореттини’. При pH 3 с соотношением кислот 2:1 и 3:1 они занимали соответственно 9,9 и 18,0 мм^2 на листовой пластинке и представляли собой мелкие бурые точки.

При воздействии ИКД с pH 2 повреждения были обнаружены на 50–80% листьев и занимали площадь от 16,1 до 64,8 мм^2, что составляло 0,2–1,3% площади листовой пластинки сорта ‘Фаворита Мореттини’. При этом площадь повреждений на ней возрастала с увеличением доли серной кислоты в смеси кислот. Если учесть, что при воздействии на растение ИКД с pH 2 с раствором одной серной или азотной кислоты повреждения занимали 1,90 и 1,49% площади листовой пластинки соответственно, то смесь кислот оказывала меньшее токсичное воздействие, чем каждая из кислот в отдельности при той же величине pH дождя.

У растений *P. armeniaca* при ИКД с pH 3 незначительные повреждения на листьях обнаружены только у сорта ‘Приусадебный’. Повреждения занимали 5,5 мм^2, что составило 1,68% площади листовой пластинки. При pH 2 у этого сорта с повреждениями было 94% листьев, а на одной листовой пластинке они занимали 5,91% площади (таблица 3.16).

Таблица 3.16 – Повреждения листьев *P. armeniaca* ИКД сульфатного состава, 2003 г.

Вариант	‘Приусадебный’			‘Крымский Амур’		
	площадь повреждений на листе, мм^2	%		площадь повреждений на листе, мм^2	%	
		поврежденных листьев	повреждений от площади листа		поврежденных листьев	повреждений от площади листа
Контроль	0	0	0	0	0	0
pH 4	0	0	0	0	0	0
pH 3	5,5 ± 1,0	24	1,68	0	0	0
pH 2	16,3 ± 1,2	94	5,91	13,6 ± 1,4	56	4,62

У сорта ‘Крымский Амур’ было повреждено 56% листьев, площадь повреждений равнялась 4,62%.

Таким образом, ‘Крымский Амур’ оказался более устойчивым к КД, чем ‘Приусадебный’, если судить по количеству и площади повреждений на листьях.

Известно, что при воздействии поллютантов одной из адаптивных реакций растения на стресс является ксерофитизация листьев, изменение площади, формы и структуры листовой пластинки [Коршиков, 1996; Стасенко и др., 1997; Асадулаев, Рамазанова, 2012, 2014 и др.]. Для оценки воздействия КС на растения *P. persica* и *P. armeniaca* определяли изменение **площади листовой пластинки** в зависимости от состава дождя на градиенте кислотности.

Установлено, что ИКД с pH 2, независимо от состава, достоверно сокращал площадь листовой пластинки у двух исследованных сортов *P. persica* в период окончания интенсивного роста побегов на 2–6 $см^2$, что составило 5–14% от контроля (рисунок 3.16).

Если учесть, что пятна отмершей ткани, вызванные ИКД с pH 2, составляли при дожде сульфатного состава 2–3% площади листовой пластинки, то в целом ее активная фотосинтезирующая поверхность уменьшилась на 8–17% для обоих сортов. Под влиянием ИКД с pH в пределах 3–5 единиц площадь листовой пластинки у сорта ‘Докторский’ существенно не изменялась, у сорта ‘Фаворита Моретти’ уменьшалась достоверно по сравнению с контролем.

ИКД нитратного состава с pH 2 сокращал величину листовой пластинки у обоих изученных сортов *P. persica* на 5–6 $см^2$ по сравнению с контролем. Увеличение pH ИКД до 4–5 единиц вызывало даже увеличение площади листовой пластинки у сорта ‘Докторский’, при pH 4 — существенное (на 7%). У растений ‘Фаворита Моретти’ ИКД с pH 4 вызывал существенное, хотя и незначительное, уменьшение площади листовой пластинки. При ИКД нитратного состава с pH 3 эта величина была ниже контрольной у обоих сортов, а при pH 2 существенно снижалась по сравнению с контролем и была даже ниже, чем при воздействии дождя сульфатного состава. Причем у сорта ‘Фаворита Моретти’ это снижение составило порядка 20%, а у ‘Докторского’ — 10% от контроля.

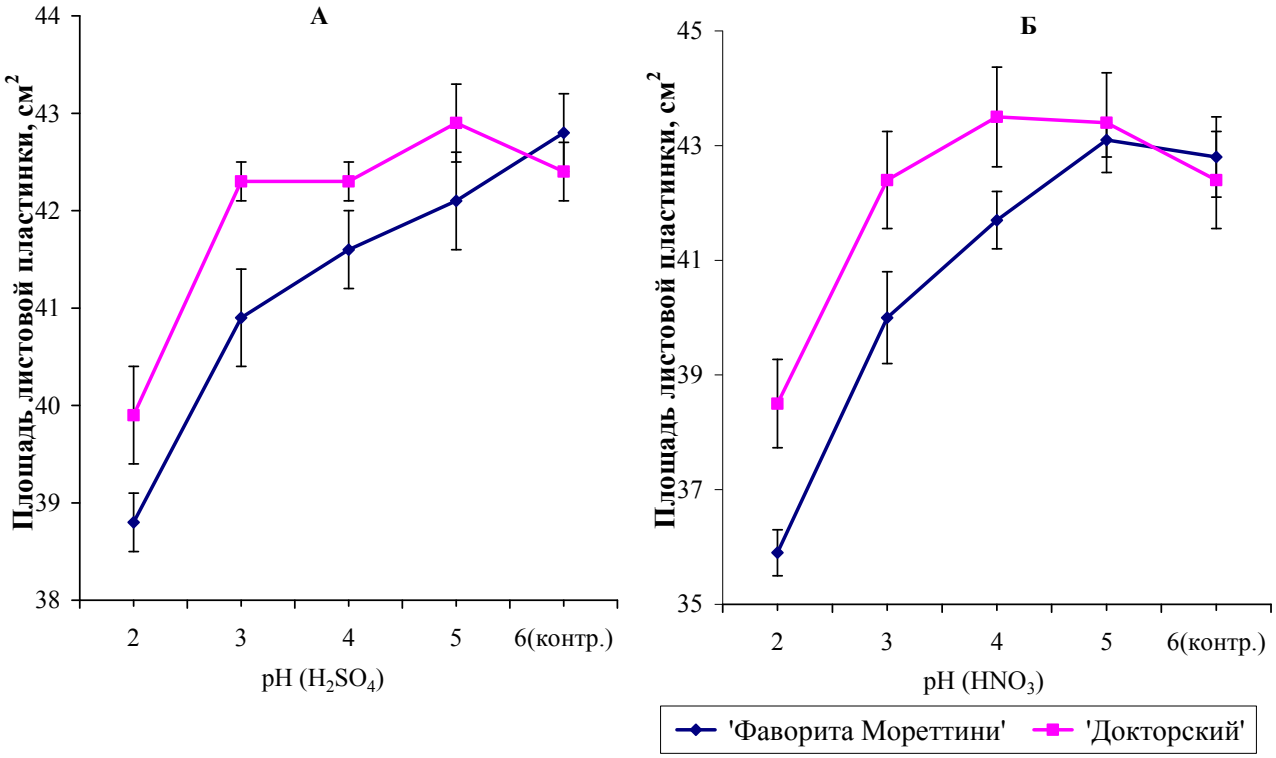

Рисунок 3.16. Изменение площади листовой пластинки *P. persica* под воздействием ИКД сульфатного (А) и нитратного (Б) состава разной величины pH, 2001 г.

Таким образом, растения сорта ‘Докторский’ были более устойчивыми к воздействию КД, если судить по реакции листового аппарата, чем ‘Фаворита Мореттини’. У сорта ‘Фаворита Мореттини’ при всех величинах pH ИКД независимо от его состава площадь листовой пластинки снижалась в большей мере, чем у ‘Докторского’.

Под воздействием ИКД смешанного состава площадь листовой пластинки *P. persica* ‘Фаворита Мореттини’ снижалась достоверно при всех исследованных величинах pH (таблица 3.17). Наибольшее отрицательное воздействие на эту величину оказал ИКД с pH 2. ИКД с pH в пределах 3–4 оказывал примерно одинаковое влияние на изменение площади листовой пластинки этого сорта.

Таблица 3.17 – Воздействие ИКД смешанного состава на площадь листовой пластинки *P. persica* ‘Фаворита Мореттини’ ($см^2$), август 2002 г.

pH	Соотношение H_2SO_4 и HNO_3	X ± Sx	t_{05}
6 (контроль)	–	59,9 ± 1,0	–
4	1:1	55,3 ± 1,0	3,25
	2:1	50,3 ± 1,1	6,46
	3:1	49,6 ± 1,1	6,93
3	1:1	55,4 ± 1,1	3,03
	2:1	55,2 ± 0,9	3,49
	3:1	54,6 ± 1,1	3,56
2	1:1	50,6 ± 1,0	6,58
	2:1	51,4 ± 1,2	5,44
	3:1	50,8 ± 1,1	6,12

С увеличением доли серной кислоты в смеси отрицательное воздействие ИКД усиливалось при всех величинах pH. Наиболее токсичным оказалось соотношение кислот 3:1, причем при снижении pH ИКД влияние доли серной кислоты сглаживалось. Вероятно, при больших концентрациях водородных ионов действие анионов ослабевало.

У сортов *P. armeniaca* ‘Приусадебный’ и ‘Крымский Амур’ под воздействием ИКД сульфатного состава с pH 3 не произошло существенных изменений площади листовой пластинки. ИКД с pH 2, как и у *P. persica*, вызывал существенное снижение этого показателя на 11,5–19,5% относительно контроля у обоих сортов, наиболее значительное у сорта ‘Приусадебный’ (рисунок 3.17).

Таким образом, ИКД с pH 4 и ниже при кратковременном остром воздействии способен привести к повреждению листового аппарата растений *P. persica* и *P. armeniaca*, что выражается в отмирании части листовой пластинки, уменьшении ее площади и, следовательно, снижении площади активной фотосинтезирующей поверхности.

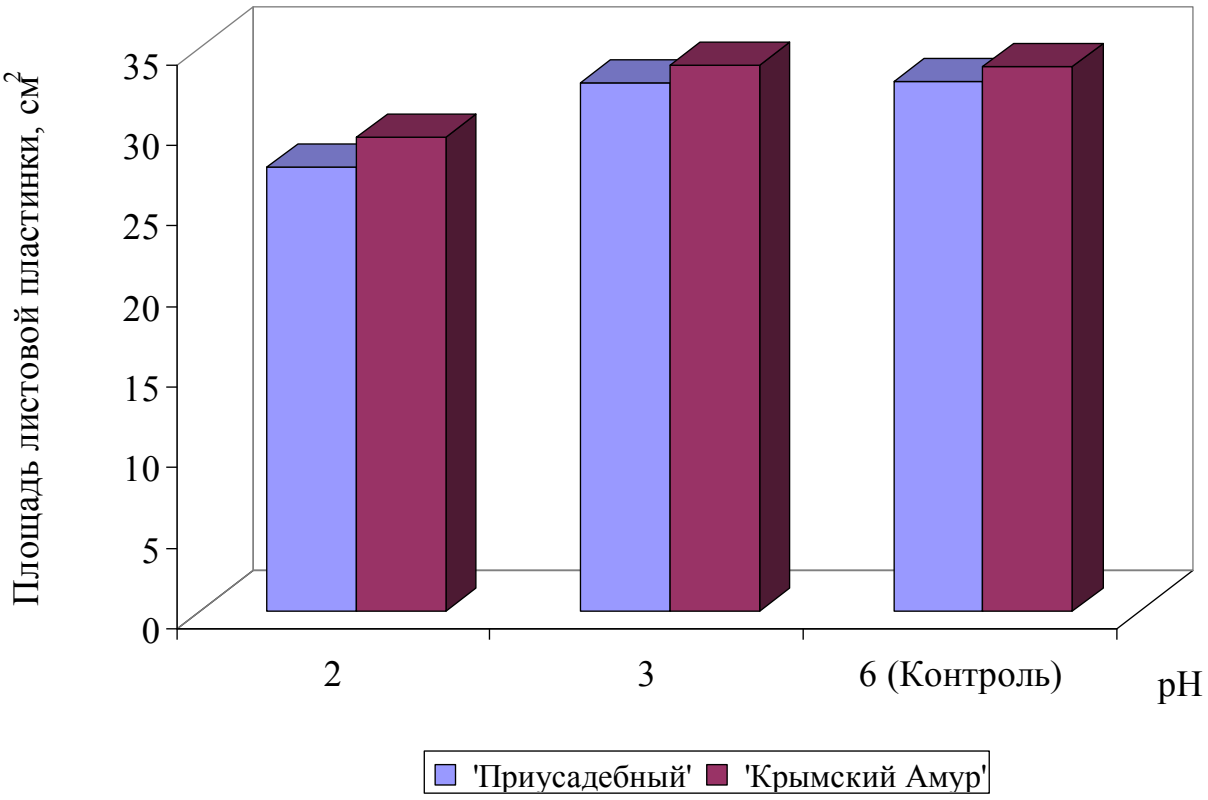

Рисунок 3.17. Изменения площади листовой пластинки растений *P. armeniaca* под воздействием ИКД сульфатного состава, 2003 г.

Степень повреждений зависела от генотипа и состава дождя. Растения *P. persica* был более чувствительным к КД по этому показателю, чем *P. armeniaca*. Более поздние из изученных сортов *P. persica* и *P. armeniaca* оказались более устойчивыми к повреждению листового аппарата ИКД. При смешанном составе дождя пороговой величиной также была величина pH 4, наиболее значительные повреждения отмечены при соотношении серной и азотной кислот в составе ИКД как 3:1.

3.3.3. Рост побегов плодовых деревьев в условиях искусственного кислотного дождя

Повреждение листового аппарата сказалось на интенсивности синтетических процессов в растении и привело к угнетению роста побегов [Klymenko, Klymenko, 2003]. Четырехлетние данные модельного эксперимента

показывают, что воздействие ИКД сульфатного состава с pH в пределах 2–4 на растения *P. persica* ‘Фаворита Моретти’ вызывало снижение общего прироста однолетних побегов на 2,1–3,7 м по сравнению с контролем (рисунок 3.18 А). ИКД с pH 5, наоборот, стимулировал рост побегов.

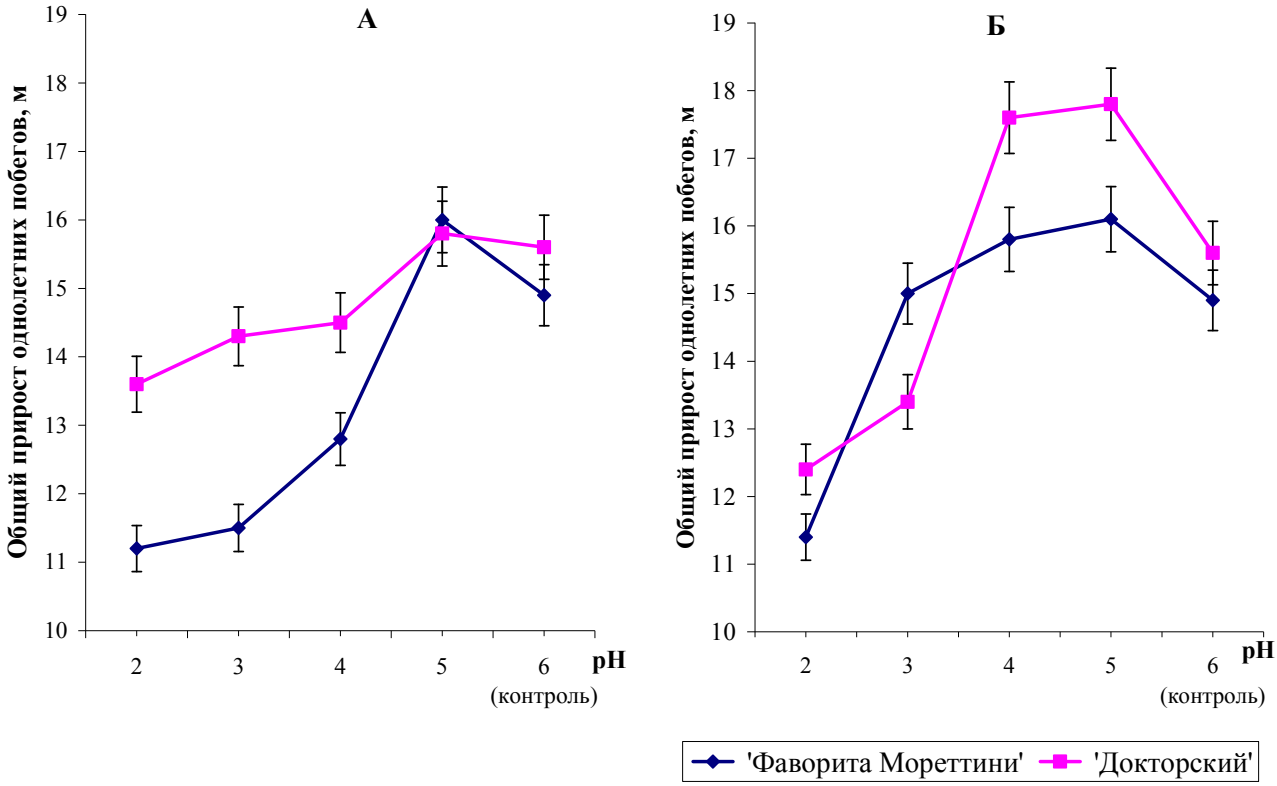

Рисунок 3.18. Воздействие величины pH искусственного кислотного дождя сульфатного (А) и нитратного (Б) состава на общий прирост однолетних побегов *P. persica*, (1997–2000 гг.)

У сорта ‘Докторский’ общий прирост однолетних побегов мало изменялся под действием ИКД сульфатного состава с pH 5. При ИКД с pH в пределах 3–4 единиц он снижался на 1,0–1,3 м. При действии ИКД с pH 2 отмечено существенное снижение этого показателя на 2 м относительно контроля. ИКД нитратного состава при pH в пределах 3–5 единиц существенно не изменял общий прирост однолетних побегов у ‘Фаворита Моретти’ по сравнению с контролем (рисунок 3.18 Б). При действии ИКД с pH 2 происходило существенное угнетение роста, причем для этого сорта оно было аналогично воздействию дождя сульфатного состава при этой же величине pH.

У сорта ‘Докторский’ произошло достоверное увеличение общей длины однолетнего прироста побегов при величине pH ИКД нитратного состава равной 4 и 5 единицам. При pH 2 и 3 этот показатель существенно снижался по сравнению с контролем на 3,2 и 2,2 м соответственно, причем для этого сорта ИКД нитратного состава при этих величинах pH воздействовал более негативно, чем дождь сульфатного состава.

Снижение общего прироста однолетних побегов у сортов *P. persica* происходило, в основном, за счет уменьшения их числа ($r = 0,95$, $n = 5$), особенно значительное уменьшение количества побегов отмечено у ‘Фаворита Мореттини’ при ИКД с pH 2 (таблица 3.18).

Таблица 3.18 – Влияние ИКД на число однолетних побегов и среднюю длину побега *P. persica*, (1997–2000 гг.)

Состав ИКД	pH	‘Фаворита Мореттини’		‘Докторский’	
		число побегов, шт.	средняя длина побега, см	число побегов, шт.	средняя длина побега, см
Контроль	6	36 ± 7	44 ± 3	50 ± 7	37 ± 4
Сульфатный	5	45 ± 8	47 ± 5	46 ± 1	37 ± 1
	4	32 ± 6	50 ± 2	45 ± 2	38 ± 1
	3	30 ± 7	49 ± 5	52 ± 9	35 ± 1
	2	26 ± 5	44 ± 5	44 ± 4	37 ± 2
Нитратный	5	44 ± 5	54 ± 4	64 ± 1	38 ± 1
	4	35 ± 6	48 ± 6	55 ± 2	44 ± 4
	3	36 ± 7	46 ± 4	34 ± 1	41 ± 3
	2	28 ± 7	45 ± 4	47 ± 4	34 ± 4

Таким образом, ИКД угнетал ростовые процессы у деревьев *P. persica*. Степень и характер угнетения зависели от индивидуальной устойчивости сорта, состава дождя и величины его pH. Так, у сорта ‘Фаворита Мореттини’ произошло существенное снижение общего прироста однолетних побегов при сульфатном составе КО в пределах величин pH от 2 до 4 единиц, за счет уменьшения числа побегов.

Сорт ‘Докторский’ оказался более устойчивым к воздействию ИКД сульфатного состава, но его рост подавлялся в большей мере при дожде нитратного состава при pH в пределах 2–3 единиц. ИКД нитратного состава при pH 4 и 5 стимулировал рост побегов у обоих сортов, особенно значительно у сорта ‘Докторский’.

Изучение ростовых процессов деревьев *P. persica* при смешанном химическом составе КО показало, что общий прирост однолетних побегов снижался при любом pH независимо от состава дождя, особенно значительно при pH 2 (таблица 3.19).

Таблица 3.19 – Воздействие ИКД смешанного состава на показатели роста деревьев *P. persica* ‘Фаворита Моретти’, 2001–2003 гг.

pH	Соотношение H_2SO_4 и HNO_3	Общий прирост однолетних побегов, м	Средняя длина побега, см	Число побегов, шт.	Диаметр штамба дерева, см
6 (контроль)	-	24,6 ± 4,7	86 ± 8	29 ± 6	6,52 ± 0,41
4	1:1	21,8 ± 4,2	59 ± 8	40 ± 13	5,81 ± 0,60
	2:1	18,1 ± 4,5	57 ± 5*	32 ± 10	5,27 ± 0,59
	3:1	17,1 ± 4,8	51 ± 2*	34 ± 10	6,00 ± 0,50
3	1:1	20,3 ± 2,8	79 ± 6	25 ± 4	6,31 ± 0,25
	2:1	20,8 ± 2,5	74 ± 3	27 ± 2	6,30 ± 0,44
	3:1	22,7 ± 3,9	59 ± 3*	38 ± 4	6,32 ± 0,40
2	1:1	22,9 ± 2,8	76 ± 4	38 ± 11	6,02 ± 0,56
	2:1	17,3 ± 4,5	61 ± 4	33 ± 12	4,42 ± 0,33*
	3:1	12,6 ± 3,7*	70 ± 5	20 ± 6	4,01 ± 0,42*
* Разница с контролем существенна, $p \leq 0,05$.					

С ростом доли серной кислоты в смеси этот показатель роста, как правило, снижался по сравнению с равным соотношением кислот (достоверно при pH 2 и соотношении кислот 3:1).

При воздействии ИКД смешанного состава уменьшалась средняя длина побега (независимо от величины pH). Количество побегов в контроле было небольшим и при воздействии ИКД с pH в пределах 3–4 единиц их число

увеличивалось при всех соотношениях кислот. Это связано с адаптацией растения к стрессу для сохранения общей фотосинтезирующей поверхности.

При pH 2 и соотношении кислот 1:1 число однолетних побегов возрастало по сравнению с контролем на 9 штук, а при соотношении 3:1 сокращалось на эту же величину. Это говорит о наиболее токсичном влиянии ИКД с pH 2 и соотношением кислот 3:1, когда адаптивные возможности организма резко снижались.

Диаметр штамба дерева как интегральный показатель ростовых процессов дерева снижался по сравнению с контролем существенно при ИКД с pH 2, особенно значительно при соотношении кислот 2:1 и 3:1 (таблица 3.19).

Таким образом, хронический ИКД смешанного состава уже при pH 4 угнетал рост растений *P. persica* ‘Фаворита Мореттини’. Увеличение доли серной кислоты в смеси кислот при одинаковой величине pH приводило к подавлению роста побегов, сокращению их длины и увеличению их числа при ИКД с pH 4 и 3. При pH 2 и соотношении кислот как 3:1 происходило как угнетение роста побегов, так и снижение их количества.

У изученных сортов *P. armeniaca* обработка растений ИКД сульфатного состава с pH 3 и ниже также приводила к снижению общего прироста однолетних побегов (таблица 3.20). У *P. cerasifera* независимо от сорта при pH 4 и ниже общий прирост однолетних побегов снижался на 10–12% по сравнению с контролем. Происходило это за счет уменьшения средней длины побега у *P. armeniaca* ‘Приусадебный’ и *P. cerasifera* ‘Обильная’. У сортов ‘Крымский Амур’ и ‘Субхи Ранняя’ длина побега менялась мало, а уменьшение общего прироста однолетних побегов происходило в большей мере за счет сокращения числа побегов.

Таким образом, КД приводил к угнетению ростовых процессов у плодовых растений, степень которого зависела от величины pH, соотношения кислотообразующих компонентов и индивидуальной устойчивости организма. У растений *P. persica* и *P. cerasifera* при ИКД с pH 4 и ниже наблюдалось угнетение роста побегов, у *P. armeniaca* такое угнетение отмечалось при pH 3 и ниже.

Таблица 3.20 – Влияние ИКД сульфатного состава на рост побегов сортов *P. armeniaca* и *P. cerasifera*, 2004 г.

Сорт	Вариант	Общий прирост однолетних побегов, см	Число побегов, шт.	Средняя длина побега, см
P. armeniaca				
‘Приусадебный’	Контроль	401 ± 66	59 ± 8	7,6 ± 0,2
	pH 3	368 ± 41	55 ± 0	6,9 ± 0,5
	pH 2	346 ± 10	58 ± 14	5,8 ± 0,2*
‘Крымский Амур’	Контроль	297 ± 75	58 ± 4	5,1 ± 1,0
	pH 4	290 ± 6	68 ± 17	5,3 ± 0,8
	pH 3	272 ± 96	49 ± 4	5,6 ± 0,4
	pH 2	205 ± 35	39 ± 7*	5,3 ± 0,5
P. cerasifera				
‘Субхи Ранняя’	Контроль	291 ± 61	53 ± 8	6,2 ± 0,6
	pH 4	260 ± 34	42 ± 2	6,2 ± 1,1
	pH 3	260 ± 38	36 ± 1	7,2 ± 1,2
	pH 2	263 ± 79	48 ± 8	5,0 ± 0,5
‘Обильная’	Контроль	621 ± 30	37 ± 2	17,6 ± 0,8
	pH 4	564 ± 16	35 ± 9	16,9 ± 2,1
	pH 3	545 ± 7	46 ± 5	13,7 ± 0,2*
	pH 2	539 ± 6	39 ± 3	11,8 ± 0,4*
* Разница с контролем существенна, $p \leq 0,05$.				

Тест-объект ‘Фаворита Моретти’ как более ранний был более чувствительным к КД сульфатного состава, чем ‘Докторский’. Наиболее устойчивым к ИКД по воздействию на вегетативные органы оказался сорт ‘Субхи Ранняя’. При воздействии ИКД однокомпонентного состава с pH в пределах 3–4 единиц уменьшалось число побегов при увеличении их длины, что связано с адаптивными способностями организма. ИКД с pH 2 угнетал как рост побегов, так и их образование. При смешанном составе ИКД с pH в пределах 3–4 единиц у *P. persica*, наоборот, число побегов увеличивалось, но сокращалась длина побега, причем увеличение доли серной кислоты в смеси кислот способствовало большему угнетению роста. Возможно, такая смесь в большей мере повреждала точки роста побегов. При воздействии ИКД с pH 2 действие соотношения кислот в смеси сглаживалось.

3.3.4. Влияние кислотных осадков на показатели продуктивности растений и качество плодов

Повреждение листового аппарата и угнетение роста плодовых растений приводит к снижению или полной потере продуктивности. В литературе имеются сведения о влиянии КО на количество плодов растений [Ormrod, 1978, 1986; Proctor, 1983; Rinallo, 1989], но в основном они касаются *M. domestica*. Нашими исследованиями *P. persica* впервые показано снижение его урожая до 30–50% под влиянием ИКД с pH 2 и 3 [Клименко, Клименко, 1999; 2008].

Установлено, что ИКД значительно влиял на процесс завязываемости плодов при самоопылении *P. persica*. Изоляция обработанных серной кислотой цветков показала, что при pH 2 число завязей составило лишь 15% от числа цветков, при pH 3 — 68,6%, а при pH 4 увеличивалось до 84,4%. При перекрестном опылении снижение завязываемости при ИКД с pH 2 было не столь значительным за счет привноса пыльцы с соседних необработанных ИКД деревьев и составило 63% от общего количества цветков при первой ревизии. В связи с этим, КД в период цветения может быть наиболее опасен для преимущественно самоопыляемых растений.

В опыте без изоляции бутонов количество цветковых почек ‘Фаворита Моретти’ в контрольном варианте у трехлетних растений было довольно высоким (таблица 3.21).

Таблица 3.21 – Влияние pH ИКД сульфатного состава на количество цветковых почек, цветков, завязей и плодов *P. persica* ‘Фаворита Моретти’, 1997–1998 гг.

pH ИКД	Цветковые почки	Цветки	Завязи	Плоды
	шт./дерево		% от числа цветков	
2	197	41	34,2	19,1
3	210	42	34,8	25,0
4	205	43	40,6	39,0
5	231	50	43,7	43,0
6 (контроль)	226	49	41,8	41,8
$НСР_{05}$	$F_ф < F_{05}$	$F_ф < F_{05}$	4,4	8,9

ИКД с pH 2, воздействующий на растения на протяжении предыдущей вегетации, снизил эту величину на 29 штук или на 15%. Под влиянием ИКД с pH в пределах 3–4 количество цветковых почек было несколько ниже, чем в контроле (различия в пределах ошибки опыта). ИКД с pH 5 практически не повлиял на число цветковых почек растений *P. persica*.

Количество раскрывшихся цветков (после обрезки) было примерно одинаковым в контроле и при воздействии ИКД с pH 5. Воздействие более низкими величинами pH ИКД создавало тенденцию к снижению числа цветков.

Процент завязавшихся плодов от числа цветков после июньского опадения завязей в контроле составил 41,8%. При ИКД с pH 5 эта величина несколько увеличилась. ИКД с pH 4 почти не повлиял на процесс завязывания плодов. Количество завязей при ИКД с pH в пределах 2 – 3 было одинаково низким и на 20 относительных процентов ниже контроля.

Количество снятых плодов, выраженное в процентах от числа цветков, в контроле оставалось равным числу завязей. При воздействии ИКД с pH 5 происходило незначительное увеличение их числа по сравнению с контролем. При ИКД с pH 3 и 2 их было существенно меньше чем в контроле в 1,7 и 2,1 раза соответственно. Происходило это за счет опадения плодов в период их созревания. Это может быть вызвано повреждением листового аппарата кислотой, угнетением ростовых процессов в условиях ИКД, недостаточным снабжением плодов питательными веществами.

Таким образом, хроническое влияние ИКД предыдущего года на закладку и степень сформированности цветковых почек, число цветков (после обрезки) *P. persica* было незначительным. Суммарное воздействие прошлогодней и текущей обработки ИКД цветков и завязей привело к значительному уменьшению числа последних, вероятно, вследствие нарушения процесса оплодотворения и формирования завязей при ИКД pH 3 и ниже. При этом pH существенно снизилось число снятых плодов в 1,7 раза по сравнению с контролем (pH 6).

Масса плодов в среднем за три года плодоношения у ‘Фаворита Мореттини’ значительно снизилась (на 40–60 %) под воздействием ИКД сульфатного состава с pH 3 и ниже (таблица 3.22). ‘

Таблица 3.22 – Влияние ИКД на общую массу плодов молодых растений *P. persica*, среднее за 3 года

Состав ИКД	pH	‘Фаворита Мореттини’		‘Докторский’	
		г/дерево	% от контроля	г/дерево	% от контроля
Контроль	6	476	100	942	100
H_2SO_4	5	417	88	1039	110
	4	427	90	1374	146
	3	287	60	998	106
	2	196	41	739	78
HNO_3	5	389	82	855	91
	4	515	108	1047	111
	3	508	107	965	102
	2	275	58	778	83
$НСР_{05}$	-	80	-	79	-

Сорт ‘Докторский’ был более устойчив к ИКД сульфатного состава и только при pH 2 сокращал урожай на 22%. При pH в пределах 3–5 единиц, урожай, наоборот, увеличивался, особенно значительно при pH 4 — на 46%.

ИКД нитратного состава в меньшей степени изменял урожай плодов ‘Фаворита Мореттини’, чем сульфатный при тех же величинах pH. Достоверное снижение урожая при pH 5 связано, вероятно, с созданием более благоприятных условий для развития плодовой гнили (*Monilia fructigena* (G. Winter) Honey), когда 10% плодов было повреждено ею и опало во время созревания, это же отмечено и для сорта ‘Докторский’.

ИКД нитратного состава воздействовал на плодоношение сорта ‘Докторский’ так же, как и на ‘Фаворита Мореттини’, но разница с контролем по вариантам опыта была не столь значительной. Наибольшее снижение массы плодов отмечено при ИКД с pH 2 на 17% по сравнению с контролем. ИКД с pH 4 увеличивал урожай этого сорта на 11%.

Чтобы установить количественные зависимости показателей плодоношения и роста *P. persica* от величины pH КД, нами были проведены корреляционный и регрессионный анализы полученных данных. Установлены сильные прямые корреляции всех изученных показателей плодоношения и роста ‘Фаворита Мореттини’ с величиной pH ИКД (таблица 3.23).

Таблица 3.23 – Зависимость показателей плодоношения и роста (y) ‘Фаворита Мореттини’ от величины pH ИКД сульфатного состава (x), 1997 – 1998 гг., n = 5

Показатель плодоношения и роста (y)	Коэффициент корреляции	Ошибка коэфф. корреляции	Коэффициент детерминации, %	Уравнение линейной регрессии
Количество цветковых почек, шт.	0,85	0,30	72	–
Количество цветков, шт.	0,90	0,25	81	$y_2 = 3{,}3\ x_2 + 30{,}0$
Число завязей, % от количества цветков	0,89	0,26	79	$y_3 = 2{,}4\ x_3 + 29{,}4$
Число плодов, % от количества цветков	0,93	0,21	86	$y_4 = 6{,}3\ x_4 + 8{,}2$
Длина однолетнего прироста, м	0,70	0,41	49	–
Площадь листовой пластинки, $см^2$	0,79	0,35	62	–
Примечание – Уравнение регрессии рассчитано для случаев достоверной корреляционной связи, $p \leq 0{,}05$.				

Наиболее тесная и достоверная связь установлена с количеством цветков, завязей и плодов. Из показателей роста от величины pH в большей мере зависела площадь листовой пластинки.

Для тех случаев, когда корреляционная связь была достоверной на 5% уровне значимости, рассчитывали уравнения прямолинейной регрессии между указанными показателями, на основании которых, зная величину pH выпавших дождей, можно прогнозировать снижение продуктивности *P. persica*. Так, например, при длительных КО с pH 4, число завязей ‘Фаворита Мореттини’ составит 39%, а плодов — 33% от числа цветков. Коэффициенты детерминации,

выражающие долю (процент) изменений в изучаемом факторе, вызванную величиной pH ИКД, показывают наибольшую долю влияния ИКД на количество цветков и процент завязывания плодов и составляют 81 и 86 % соответственно.

Установлена криволинейная достоверная зависимость между количеством плодов ‘Фаворита Моретти’ (% от контроля) и величиной pH ИКД нитратного состава. Эта зависимость описывается уравнением параболы третьего порядка, которое имеет вид:

$$Y = 7{,}67\,x^3 - 75{,}36\,x^2 - 224{,}98\,x - 100, \quad (8)$$

где Y — урожай плодов, % от контроля; x — величина pH ИКД.

$R^2 = 0{,}980$, $p \leq 0{,}01$

Анализируя полученную зависимость, можно сделать вывод о том, что точность модели достаточно высокая, коэффициент детерминации высокий (0,98), что отражает высокую степень достоверности. Разница между экспериментальными и расчетными значениями не превышает 10%, что вполне допустимо для разработки прогнозов в биологии.

Используя полученные уравнения, можно прогнозировать показатели плодоношения молодых деревьев *P. persica* ‘Фаворита Моретти’ при затяжных КД, прошедших во время цветения.

Таким образом, было установлено, что ИКД не оказывал значительного влияния на закладку цветковых почек и количество цветков на деревьях *P. persica*. Воздействие ИКД с pH 3 и ниже в процессе цветения, роста и созревания плодов привело к существенному сокращению числа завязей и плодов ‘Фаворита Моретти’ за счет гибели пестиков и, возможно, недостаточного снабжения плодов питательными веществами из-за повреждения листового аппарата кислотой. Для сорта ‘Докторский’ из-за его большей устойчивости к КО это значение сдвигается в кислую сторону, и критическим для него является величина pH 2 при остром кратковременном воздействии, тогда как при pH 4 масса плодов увеличивалась.

Величина pH КД равная 5, воздействующая на растения *P. persica* обоих сортов в период созревания плодов, приводила к снижению урожая плодов с дерева за счет более благоприятных условий для развития плодовой гнили.

Установлены сильные достоверные корреляционные зависимости между величиной pH ИКД и количеством цветков, завязей и плодов *P. persica*. Рассчитанные уравнения регрессии позволяют прогнозировать продуктивность *P. persica* в условиях КД сульфатного и нитратного состава различной величины pH. Пороговой величиной ИКД сульфатного состава для ‘Фаворита Моретти’ является pH 3, когда количество плодов сокращается на 40% относительно оптимальных условий. Для сорта ‘Докторский’ эта величина равняется pH 2.

Данные модельного эксперимента показывают, что количество цветков на модельной ветви у всех исследованных сортов *P. armeniaca* и *P. cerasifera* снижалось при уменьшении pH ИКД сульфатного состава (таблица 3.24).

Таблица 3.24 – Влияние ИКД сульфатного состава на число завязей и плодов на модельной ветви деревьев *P. armeniaca* и *P. cerasifera*, 1997–2000 гг.

Показатели	Контроль	pH 4	pH 3	pH 2
P. armeniaca ‘Приусадебный’				
Количество цветков, шт.	203	179	121	118
% завязей от количества цветков	22,8	11,2	9,4	6,7*
% плодов от количества цветков	22,6	10,1	9,2	5,9*
P. armeniaca ‘Крымский Амур’				
Количество цветков, шт.	169	166	156	144
% завязей от количества цветков	19,8	13,9	12,4	8,8*
% плодов от количества цветков	15,3	9,7	8,3*	5,1*
P. cerasifera ‘Обильная’				
Количество цветков, шт.	114	106	99	89
% завязей от количества цветков	23,6	32,8	27,4	18,2
% плодов от количества цветков	4,8	6,2	4,6	1,2*
* Разница с контролем существенна, $p \leq 0,05$.				

Наибольшее снижение числа цветков при всех величинах pH отмечено у *P. armeniaca* ‘Приусадебный’, по сравнению с другими изученными сортами, что говорит о большей чувствительности этого сорта к КД. Процент завязей от количества цветков в контроле у изученных растений *P. armeniaca* и *P. cerasifera* был невысоким.

У растений *P. armeniaca* ‘Приусадебный’ уже при pH 4 он снижался более чем вдвое, а у *P. cerasifera* ‘Обильная’ увеличивался при этой величине pH и при pH 3 на 9,2 и 3,8% соответственно. При ИКД с pH 2 у всех сортов процент завязей был наименьший, а у обоих сортов *P. armeniaca* был существенно ниже, чем в контроле. У растений *P. cerasifera* ‘Обильная’ число завязей оставалось еще достаточно высоким.

Процент плодов от числа цветков в контроле был наиболее высоким у *P. armeniaca* ‘Приусадебный’, а самым низким — у *P. cerasifera* ‘Обильная’. Под влиянием ИКД с pH 4 у *P. armeniaca* ‘Приусадебный’ как наиболее чувствительного к ИКД эта величина снизилась более чем вдвое относительно контроля. У растений ‘Крымский Амур’ она снизилась достоверно на 5,6%.

У *P. cerasifera* сорта ‘Обильная’ ИКД с pH 4 даже стимулировал завязываемость плодов, что говорит о большей потенциальной устойчивости этой породы к КС. При воздействии ИКД с pH 3 число плодов у обоих сортов *P. armeniaca* на модельной ветви сокращалось на 50–60% относительно контроля. У растений *P. cerasifera* ‘Обильная’ при этой величине pH урожай практически не изменялся по сравнению с контролем.

У всех изученных сортов под воздействием ИКД сульфатного состава с pH 2 урожай сокращался значительно, причем у растений *P. armeniaca* ‘Приусадебный’ и ‘Крымский Амур’ он был примерно одинаковым и составил 26 и 33% от контроля соответственно. У растений *P. cerasifera* ‘Обильная’ при этой величине pH ИКД урожай снизился в 4 раза в сравнении с контролем.

Таким образом, для раннего и чувствительного к КД сорта *P. persica* ‘Фаворита Моретини’ пороговой величиной кислотности дождя сульфатного состава, снижающей урожай плодов на 40% является pH 3, для более позднего и

устойчивого сорта ‘Докторский’ pH 2. При воздействии дождя нитратного состава критической величиной кислотности дождя для обоих сортов является pH 2. Однако, учитывая то, что эти величины pH отрицательно влияют на листовой аппарат и рост растений, при хроническом воздействии они могут привести к значительному ослаблению деревьев и резкому снижению урожая. Для более раннего и чувствительного к КД сорта *P. armeniaca* ‘Приусадебный’, критической, снижаюшей число плодов более чем на 50%, является величина ИКД сульфатного состава с pH 4. Для более устойчивого сорта ‘Крымский Амур’ — pH 3, для *P. cerasifera* ‘Обильная’ эта величина равна 2.

Воздействие ИКД на растения *P. persica* в течение вегетационного периода вызвало изменения в биохимическом составе плодов (таблица 3.25).

Таблица 3.25 – Биохимический состав плодов *P. persica* в условиях ИКД, среднее за 1997–2000 гг.

Сорт	Состав ИКД	pH	Сахара, %		АК, мг/100г	Титруемая кислотность, %
			моно	сумма		
‘Фаворита Моретти’	контроль	6	3,8	8,5	11,1	0,58
	H_2SO_4	4	3,4	10,1	9,7	0,62
		3	3,8	10,4	10,3	0,50
		2	3,9	8,9	7,4	0,62
	HNO_3	4	3,8	10,8	8,2	0,49
		3	5,4	12,2	8,2	0,52
		2	3,7	10,4	8,3	0,48
‘Докторский’	контроль	6	2,1	9,5	11,9	0,52
	H_2SO_4	4	3,9	13,8	10,7	0,53
		3	2,1	10,9	11,0	0,62
		2	2,8	9,5	10,1	0,56
	HNO_3	4	2,1	9,5	8,6	0,57
		3	2,0	9,5	7,8	0,60
		2	1,9	9,0	7,6	0,65
$НСР_{05}$	-	-	0,5	2,0	3,2	0,04

С ростом кислотности дождя незначительно возрастало количество сахаров в плодах, вероятно, за счет роста доли моносахаров в их сумме, существенное по сравнению с контролем у ‘Фаворита Моретти’ при нитратном составе дождя

(pH 3), а у ‘Докторского’ — при сульфатном (pH 4). Концентрация АК снизилась в плодах обоих сортов, наиболее значительно и достоверно у ‘Фаворита Мореттини’ при сульфатном составе дождя с pH 2, и у обоих сортов при любом pH дождя нитратного состава.Для сорта ‘Докторский’ это снижение было существенным по отношению к контролю и почти пропорциональным снижению pH ИКД нитратного состава (r = 0,95).

Титруемая кислотность плодов при КС увеличивалась, особенно значительно у сорта ‘Фаворита Мореттини’ при ИКД с pH 4 и 2, а у ‘Докторского’ при ИКД сульфатного состава с pH 3 и нитратного — с pH 3 и 2.

Содержание АК в плодах *P. armeniaca* в контроле колебалось от 8,36 до 14,01 мг/100 г в зависимости от сорта (таблица 3.26). Высокое содержание АК в плодах отмечено у сорта ‘Костинский’ и ‘Крымский Медунец’, намного ниже оно было у сортов ‘Приусадебный’ и ‘Крымский Амур’. При воздействии на растение ИКД с pH 3 произошло значительное уменьшение концентрации АК в плодах сорта ‘Приусадебный’, а у ‘Костинского’, как более устойчивого к КС по проявлению внешних симптомов, и у сорта ‘Крымский Медунец’ ее снижение было не столь значительным. ИКД с pH 2 вызывал наиболее существенное снижение содержания АК в плодах у сортов ‘Приусадебный’ и ‘Крымский Амур’, у последнего оно было достоверным по отношению к контролю, но не повлиял существенно на содержание АК в плодах сорта ‘Костинский’.

Таблица 3.26 – Изменение содержания АК в плодах *P. armeniaca* под воздействием ИКД, 2003 г.

Сорт	АК в плодах, мг/100 г		
	контроль	pH 3	pH 2
‘Приусадебный’	8,44	6,44	5,62
‘Костинский’	13,20	12,06	12,14
‘Крымский Амур’	8,36	не опр.	3,34*
‘Крымский Медунец’	14,01	12,23	не опр.
* Разница с контролем существенна, $p \leq 0,05$.			

Таким образом, ИКД приводил к изменению биохимического состава плодов *P. persica* и содержания АК в плодах *P. armeniaca*. Негативным является увеличение кислотности и уменьшение содержания витамина С, что снижает диетические качества плодов. Значительные изменения в биохимическом составе плодов происходили при снижении pH ИКД до 3 и ниже. Сорт ‘Фаворита Моретти’ был более чувствительным к сульфатному, а ‘Докторский’ — к нитратному составу дождя. В плодах *P. armeniaca* ‘Приусадебный’ под влиянием КД существенно снижалось содержание АК, у сорта ‘Костинский’ оно практически не изменялось, что отражает его как большую устойчивость к кислотным осадкам.

3.4. Физиолого-биохимические реакции плодовых растений на кислотные осадки и оценка их устойчивости

Биоиндикация загрязнения атмосферы в том числе КО может решаться на физиолого-биохимическом уровне. В связи с тем, что КО индуцируют окислительный стресс в растении, оно реагирует на него в соответствии с уровнем адаптационного потенциала, реализуемого в условиях стресса, вызванного загрязнением воздуха [Черненькова, 2002]. В экстремальных условиях кислотного стресса, вызванного КО, активируется антиоксидантная система организма, в которую входит большое число компонентов. В настоящее время активно изучаются компоненты этой системы в растениях, произрастающих в условиях промышленного загрязнения воздушной среды [Бессонова, 2010; Гарифзянов, 2011; Schuetzenduebel, Polle, 2002; Ши и др., 2005]. Однако, ответные реакция плодовых растений на стресс и в частности изменения в поглощении элементов питания и особенно низкомолекулярные метаболиты, проявляющие антиоксидантные свойства, изучены недостаточно.

В связи с этим нами изучалась реакция некоторых видов рода *Prunus,* связанная с изменениями в минеральном питании и содержании антиоксидантов в

условиях моделирования кислотного стресса, индуцированного кислотными осадками.

3.4.1. Минеральное питание растений *Prunus persica* (L.) Batsch в условиях кислотного стресса

В связи с тем, что растения способны поглощать вещества через листья, КО, воздействующие на листовой аппарат в течение длительного времени, могут привести к изменению не только структуры листа и содержания антиоксидантов, но и количества минеральных компонентов в нем и, в конечном счете, к нарушению минерального питания растений [Илькун 1978; Foster, 1990 и др.].

Нами было изучено минеральное питание молодых растений *P. persica* в условиях ИКД сульфатного и нитратного состава с различной величиной pH и смешанного химического состава с разным соотношением кислот [Klymenko, Klymenko, 2001; Клименко и др., 2010]. Установлено, что в листьях ‘Фаворита Моретти’ под воздействием ИКД сульфатного состава практически при любой величине pH происходило накопление N (таблица 3.27). При ИКД с pH 2 концентрация азота в листьях возрастала почти в 1,5 раза по сравнению с контролем. Это связано с тем, что N, поглощаемый из почвы, не принимал участие в синтетических процессах за счет подавления роста и, таким образом, накапливался в виде небелковых соединений [Сабинин, 1971].

Концентрация P в листьях ‘Фаворита Моретти’ увеличивалась под влиянием ИКД сульфатного состава при любом pH (таблица 3.27). Такое накопление может быть связано с недопотреблением N, который накапливался в листьях, что отмечают другие исследователи [Попова, Фоменко, 2011].

Содержание K в листьях ‘Фаворита Моретти’ при ИКД с pH 5 снижалось, а при pH в пределах 2–4 было близко к контрольному.

Концентрация Ca в листьях ‘Фаворита Моретти’ при ИКД сульфатного состава с pH 5 возрастала незначительно, что, возможно, характеризует реакцию адаптации, а при pH в пределах 2–4 была значительно ниже контрольной и

опускалась за нижний предел оптимального содержания, принятого для *P. persica* — 1,8% [Семенюк, 1983]. И наоборот, концентрация Mg в листьях этого сорта при данных условиях снизилась почти в два раза при pH 5, и возрастала при более низких pH ИКД, возможно, из-за антагонизма с Ca.

Таблица 3.27 – Изменение содержания элементов питания в листьях *P. persica* (% сухой массы) под действием ИКД, 1997 г.

Состав ИКД	pH	N	P	K	Ca	Mg	S	
							август	сентябрь
‘Фаворита Моретини’								
H_2SO_4	6,0 (контроль)	2,57	0,45	1,34	1,61	0,50	0,23	0,38
	5,0	2,80	0,57	1,22	1,79	0,28	0,18	0,28
	4,0	2,46	0,58	1,38	1,22	0,83	0,24	0,37
	3,0	3,08	0,55	1,39	1,39	0,67	0,30	0,33
	2,0	3,72	0,53	1,35	1,18	0,88	0,19	0,46
HNO_3	5,0	2,61	0,67	1,57	1,57	0,42	0,21	0,31
	4,0	2,48	0,64	1,58	1,43	0,45	0,24	0,36
	3,0	2,64	0,59	1,37	1,22	0,46	0,24	0,32
	2,0	2,23	0,57	1,31	1,50	0,45	0,20	0,37
	$НСР_{05}$	0,19	0,03	0,03	0,22	0,10	0,01	0,02
‘Докторский’								
H_2SO_4	6,0 (контроль)	2,81	0,33	1,87	1,50	0,66	0,27	0,30
	5,0	2,87	0,34	1,39	1,29	0,50	0,32	0,35
	4,0	3,34	0,37	1,34	1,57	0,59	0,29	0,37
	3,0	2,30	0,33	1,33	1,36	0,64	0,30	0,31
	2,0	2,48	0,43	1,47	1,36	0,42	0,31	0,58
HNO_3	5,0	2,66	0,35	1,34	1,57	0,56	0,26	0,25
	4,0	2,67	0,25	1,35	1,57	0,67	0,25	0,28
	3,0	2,45	0,32	1,36	1,50	0,63	0,28	0,26
	2,0	2,76	0,37	1,37	1,36	0,56	0,25	0,27
	$НСР_{05}$	0,27	0,05	0,03	0,20	0,09	0,02	0,01

Содержание S в контрольных листьях было достаточно высоким и существенно увеличивалось под действием ИКД сульфатного состава у сорта ‘Фаворита Моретини’ как более чувствительного к КД. Особенно значительное накопление S у этого сорта наблюдалось в сентябре перед листопадом, что

говорит о чрезмерном поступлении серы в листья и механизме выведения ее из организма с опадающими листьями.

Влияние ИКД нитратного состава на минеральное питание растений ‘Фаворита Моретти’ выражалось слабее, чем при сульфатном составе дождя. Некоторое накопление N в листьях отмечено только при ИКД с pH 5 и 3. ИКД с pH 2 значительно снизил содержание этого элемента по отношению к контролю. При этом произошло существенное накопление P и обеднение листьев Ca, K и Mg. Это свидетельствует о неблагоприятном воздействии КД нитратного состава с pH 2 на минеральное питание этого сорта.

В листьях сорта ‘Докторский’, более устойчивого к ИКД, чем предыдущий, как показано нами ранее [Клименко, Клименко, 1999], изменения в содержании элементов питания в листьях под действием ИКД сульфатного состава были не такими значительными, как у сорта ‘Фаворита Моретти’. При снижении pH ИКД происходило уменьшение содержания N и зольных элементов в листьях, большее при сульфатном составе дождя, чем при нитратном, за счет вымывания их из клеток КД [Pell, 1988; Foster, 1990]. ИКД нитратного состава не приводил к значительным изменениям в минеральном питании сорта ‘Докторский’ даже при pH 2 и 3.

Сера в листьях этого сорта накапливалась незначительно в процессе вегетации, что говорит о преодолении им токсичного влияния сульфатов. Однако перед листопадом при ИКД с pH 2 ее накопление было выше, чем у ‘Фаворита Моретти’ и свидетельствует о более интенсивном выведении излишков этого элемента из растения с опадающими листьями.

Механизмы использования КО и их влияние на растения не выяснены до конца. При значениях pH в пределах оптимума они служат в качестве питательного вещества для растений [Ormrod, 1986]. Серная кислота может быть более токсичной, так как обладает большой способностью поглощать воду и таким образом может обезвоживать органические вещества, а также лишать углеводы водорода и кислорода и выделять углерод, как уголь, ведущий к образованию некрозов. В связи с тем, что потребность в N у *P. persica* выше, чем

в S, кислотный остаток из HNO_3 интенсивнее принимал участие в обменных процессах, в то время как ион SO_4^{2-} (сера) накапливалась, особенно в конце вегетации при pH 2 и удалялась из растений с осенними листьями. Сера накапливалась наиболее интенсивно в листьях сорта ‘Докторский’, который, являясь более устойчивыми к КС, способен регулировать обменные процессы в таких условиях. Таким образом, степень накопления иона SO_4^{2-} в опавших листьях может служить индикатором устойчивости растений к загрязнению воздуха соединениями серы.

Как ранее отмечалось, однокомпонентный химический состав природных осадков — явление очень редкое. В связи с этим, мы изучали минеральное питание растений ‘Фаворита Мореттини’ в условиях ИКД смешанного состава. Установлено, что содержание N в листьях контрольного варианта было низким и мало менялось под влиянием ИКД (таблица 3.28).

Таблица 3.28 – Концентрация элементов питания в листьях (% сухой массы) *P. persica* ‘Фаворита Мореттини’ в условиях ИКД смешанного состава, 2001 г.

Вариант	Соотношение H_2SO_4 и HNO_3	N	P	K	Ca	Mg
pH 6 (контроль)	-	2,34	0,34	1,67	1,79	0,68
pH 4	1:1	2,18	0,42*	1,89*	1,70	0,31*
	2:1	2,49	0,40*	2,03*	1,52*	0,41*
	3:1	2,32	0,42*	1,95*	1,34*	0,86*
pH 3	1:1	2,48	0,24*	1,87*	1,61	0,45*
	2:1	2,32	0,48*	1,80	1,70	0,63
	3:1	2,25	0,44*	1,78	1,52*	0,36*
pH 2	1:1	2,49	0,28*	1,81	1,61	0,45*
	2:1	2,58	0,34	1,81	1,61	0,36*
	3:1	2,38	0,37	1,88*	1,43*	0,81*
$НСР_{05}$	-	$F_ф < F_{05}$	0,06	0,16	0,20	0,09
Оптимум**	-	3,0–4,1	0,10–0,40	1,4–2,5	1,8–2,7	0,43–0,70
* Разница с контролем существенна, $p \leq 0,05$; ** N, P, K по данным Г.М. Семенюка [1983]; Ca и Mg — по D. R. Leece [1976].						

Лишь под воздействием ИКД с pH 2 произошло некоторое его накопление при любом соотношении кислот. Отмечалось также тенденция к уменьшению его концентрации в листьях с увеличением доли серной кислоты в смеси.

Содержание P в листьях *P. persica* было достаточно высоким в контроле, вероятно, за счет низкого содержания N. Оно значительно и достоверно снижалось под воздействием ИКД с pH 2 и 3 и соотношения кислот 1:1. Во всех остальных случаях оно было равно или больше контрольного и нередко превышало оптимальное [Leece, 1976].Содержание K в листьях *P. persica* было невысоким в контроле и увеличивалось под влиянием ИКД, вероятно, за счет снижения концентрации Ca. Состав дождя по-разному влиял на степень его увеличения в листьях при разных величинах pH. Так, при pH 2 содержание K было максимальным при соотношении кислот 3:1, при pH 3 − как 1:1, при pH 4 − как 2:1 (разница с контролем существенна), при этом все изменения содержания K в листьях находились в пределах оптимума.

Концентрация Ca в листьях снижалась при любом pH, независимо от состава ИКД. Чем шире было отношение H_2SO_4:HNO_3, тем ниже была концентрация этого элемента в листьях и становилась значительно ниже оптимальной при pH 3 и 4 и соотношении кислот 3:1. В связи с этим, концентрацию этого элемента можно использовать как индикатор на КО.

Содержание Mg в листьях *P. persica* была довольно высоким в контроле, и изменялось по-разному в зависимости от величины pH ИКД и его состава. В целом, расширение соотношения H_2SO_4:HNO_3 приводило к увеличению его содержания (при pH 2 и 4 достоверному) по сравнению с контролем. Это связано с резким снижением содержания Ca в листьях, и антагонизмом этих ионов.

Таким образом, КО воздействовали на минеральное питание *P. persica*, что выражалось в накоплении N и P, Mg и S в листьях и существенном снижении содержания Ca при сульфатном составе ИКД. Сорт ‘Фаворита Моретти’ реагировал большим изменением минерального состава листьев, чем ‘Докторский’. У первого, более чувствительного к КД, существенные изменения минерального питания отмечаются при КД с pH 4, ‘Докторского’ — pH 3. ИКД

смешанного состава также влиял на содержание элементов питания в листьях, особенно зольных элементов. Причем с ростом доли серной кислоты в смеси кислот дождя с pH в пределах 3–4 изменения в содержании элементов питания были более значительными. Состав ИКД с pH 2 оказывал меньшее воздействие на содержание элементов питания в листьях, здесь большую роль играла концентрация иона водорода. Наиболее значительно менялось содержание Ca, который вымывался из листьев кислотой, поэтому резкое снижение содержания Ca в листьях по сравнению с оптимальным можно считать индикаторным показателем на КО. Снижение его ниже 1,5% сухой массы листа свидетельствует о токсичном воздействии окислительного стресса, что может привести к дефициту Ca в организме. Сорт *P. persica* ‘Фаворита Моретти’ как наиболее чувствительный к КО по этому и ряду других показателей может быть выбран фитоиндикатором загрязнения воздуха, особенно в зоне кислых почв, где имеется природный дефицит Ca в почвах [Percy, 2004].

С ростом доли серной кислоты в осадках, растения будут больше страдать от нарушения минерального питания. Поэтому, в зоне возможных частых КО необходимо производить листовую подкормку растений слабыми растворами нитратных удобрений содержащих Ca после таких дождей.

3.4.2. Изменение субстратов антиоксидантной системы ткани листа *P. persica* под воздействием кислотных осадков и разработка критерия оценки устойчивости растений

При воздействии кислоты на растения, еще до появления внешних симптомов повреждения, включаются механизмы преодоления стресса при активации антиоксидантной системы (АОС) организма. В нее входит целый ряд соединений гидрофобной и гидрофильной природы (аскорбиновая кислота (АК), глутатион (ГТ), полифенолы, флавоноиды, каротиноиды, ферменты оксидоредуктазы и т. д.). АК и ГТ являются компонентами защиты клетки от чрезмерного накопления пероксидов и перекисного окисления липидов. Они

также регулируют окислительно-восстановительные процессы [Alscher, 1989]. ГТ в хлоропластах присутствует преимущественно в восстановленной форме, которая защищает SH-группы белков, сохраняя их в восстановленном состоянии, выполняет специфическую роль при восстановлении окисленной формы АК [Мецлер, 1980].

Реакция растения на стресс и способность противостоять ему зависят от активности системы антиоксидантной защиты, которая определяется возрастом, периодом вегетации, а также адаптивными возможностями организма [Halliwell, 1982]. Плодовые растения в целом чувствительны к загрязнению воздуха и КО, но могут отличаться по устойчивости друг от друга [Bell, 2002]. Однако АОС этих растений в условиях КС изучена недостаточно [Rinallo, 1993; Клименко и др., 2004].

При усилении загрязнения воздуха продуктами горения и вредными кислотными выбросами важно определить степень устойчивости или чувствительности плодовых растений к стрессу для их использования в сельскохозяйственном производстве и селекции.

В связи с этим, целью наших исследований было установить воздействие ИКД на содержание и активность некоторых компонентов АОС косточковых плодовых растений рода *Prunus* с целью использования их, как диагностических, для оценки относительной устойчивости сортов к КС, а также разработать показатель и шкалу относительной устойчивости этих видов и сортов растений к КО.

Полученные данные свидетельствуют о том, что содержание АК в листьях исследованных сортов *P. persica* в контроле колебалось от 0,73 до 1,72 мг/г СМ листа и зависело от индивидуальных особенностей сорта (рисунок 3.19). Средняя ее величина для всех исследованных тест-объектов составила 1,15 мг/г СМ. КС приводил к уменьшению содержания АК в листьях всех сортов, кроме ‘Беби Голд’, где оно достоверно увеличивалось по сравнению с контролем. Значительное сокращение концентрации АК в листьях на 0,25–0,45 мг/г СМ

наблюдалось у сортов ‘Небесный Тихоход’, ‘Пушистый Ранний’, ‘Ак-Шефталю’, ‘Ореховый’, ‘Редхавен’ и ‘Остряковский Белый’.

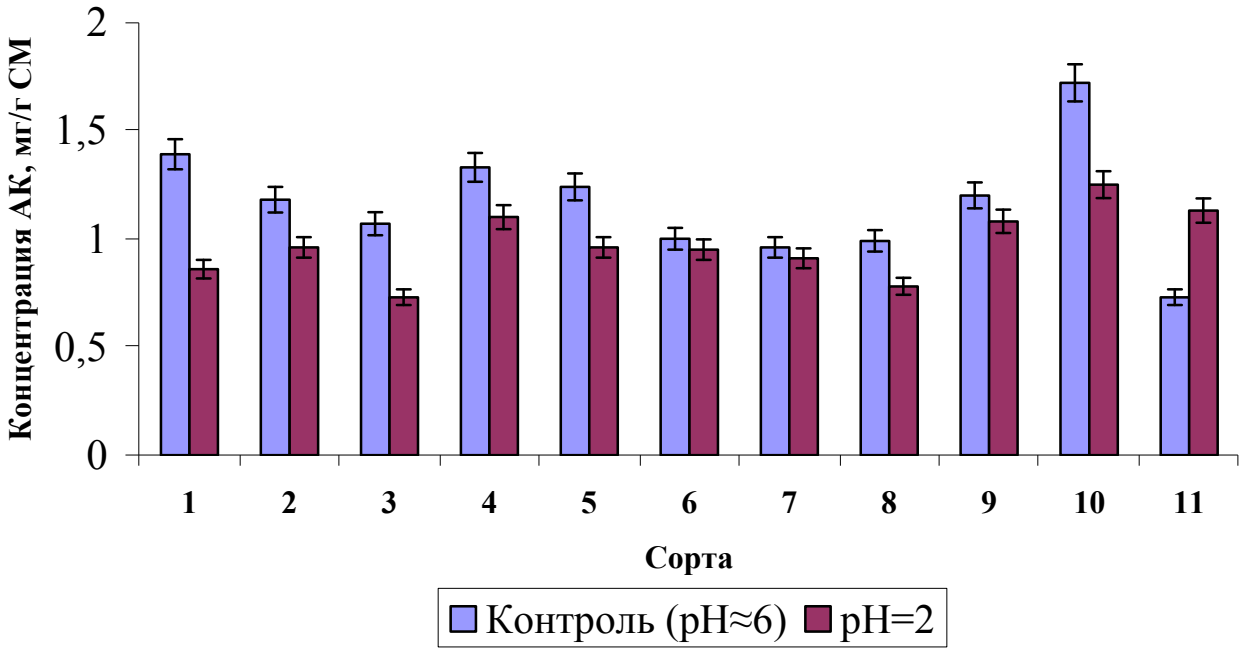

Рисунок 3.19. Воздействие кислотных осадков на концентрацию АК в листьях сортов *P. persica*:

Примечание: 1 – ‘Небесный Тихоход’, 2 – ‘Фаворита Мореттини’, 3 – ‘Пушистый Ранний’, 4 – ‘Ак-Шефталю’, 5 – ‘Ореховый’, 6 – ‘Кандидатский’, 7 – ‘Докторский’, 8 – ‘Редхавен’, 9 – ‘Стенфорд’, 10 – ‘Остряковский Белый’, 11 – ‘Беби Голд’ (сорта размещены по возрастанию степени устойчивости к КС).

Концентрация ВГТ в листьях *P. persica* колебалась в более широких пределах: 0,76–3,21 мг/г СМ и в среднем по породе составила 2,12 мг/г СМ (рисунок 3.20). У большинства тест-объектов содержание ВГТ было выше, чем АК, причем у сортов раннего срока созревания оно было в 2 и более раза выше, и только у сортов ‘Ореховый’ и ‘Остряковский Белый’ наблюдалась противоположная закономерность.

В условиях ИКД концентрация ВГТ в тканях листа снизилась у девяти тест-объектов из одиннадцати исследованных, наиболее значительно и достоверно у сортов раннего и ранне-среднего сроков созревания: ‘Небесный Тихоход’ (почти

вдвое), ‘Фаворита Мореттини’ (на 70%), ‘Пушистый Ранний’ (на 40%). У сортов ‘Редхавен’ и ‘Остряковский Белый содержание ВГТ в листьях увеличилось на 0,14–0,22 мг/г сырой массы (СМ).

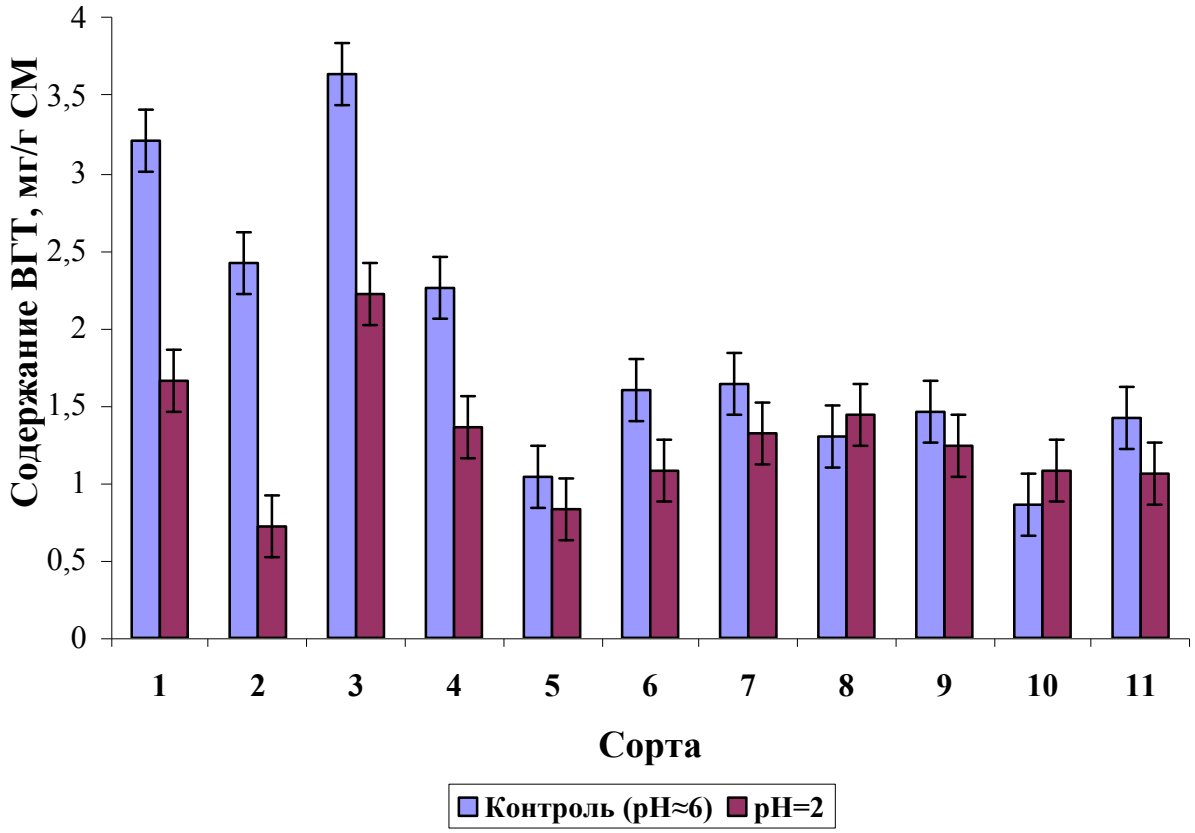

Рисунок 3.20. Концентрация ВГТ в листьях *P. persica* в условиях искусственного кислотного дождя

Примечание: 1 – ‘Небесный Тихоход’, 2 – ‘Фаворита Мореттини’, 3 – ‘Пушистый Ранний’, 4 – ‘Ак-Шефталю’, 5 – ‘Ореховый’, 6 – ‘Кандидатский’, 7 – ‘Докторский’, 8 – ‘Редхавен’, 9 – ‘Стенфорд’, 10 – ‘Остряковский Белый’, 11 – ‘Беби Голд’ (сорта размещены по возрастанию степени устойчивости к КС).

Известно, что устойчивые к загрязнению окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ) виды древесных растений способны накапливать АК в листьях [Бессонова и др., 1989], возможно, в нашем случае более устойчивые сорта повышали содержание как ВГТ (‘Редхавен’, ‘Остряковский Белый’), так и АК (‘Беби Голд’) в постстрессовый период. У других же, более чувствительных сортов, при воздействии ИКД значительная доля антиоксидантов расходовалась

на участие в реакциях нейтрализации активных форм кислорода и не восполнялась в этот период.

Величина ОРА ткани листа у группы сортов раннего срока созревания в контроле была более значительной и колебалась от 17 до 26 мл KJO_3 на г СМ (рисунок 3.21).

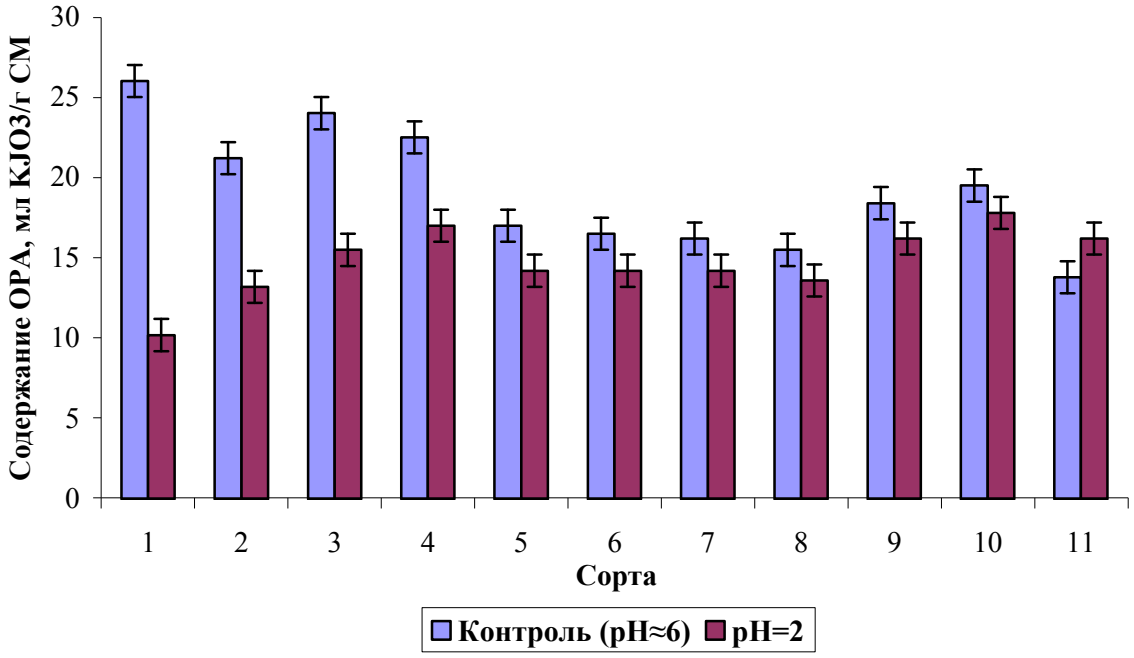

Рисунок 3.21. Концентрация ОРА ткани листа *P. persica* в условиях кислотного стресса 2001–2002 гг.

Примечание: 1 – ‘Небесный Тихоход’, 2 – ‘Фаворита Мореттини’, 3 – ‘Пушистый Ранний’, 4 – ‘Ак-Шефталю’, 5 – ‘Ореховый’, 6 – ‘Кандидатский’, 7 – ‘Докторский’, 8 – ‘Редхавен’, 9 – ‘Стенфорд’, 10 – ‘Остряковский Белый’, 11 – ‘Беби Голд’ (сорта размещены по возрастанию степени устойчивости к КС).

У сортов среднего срока созревания она была несколько ниже и варьировала в меньших пределах: от 15 мл у сорта ‘Редхавен’ до 19 мл у сорта ‘Остряковский Белый’. Среднее содержание этого показателя для изученной группы сортов составило 20 мл KJO_3 на г СМ. КС вызвал наиболее резкое снижение ОРА ткани у сортов раннего срока созревания на 4–16 мл. У сорта ‘Беби Голд’, наоборот, произошло увеличение этого показателя на 2,4 мл, по-

видимому, за счет роста содержания АК. У остальных исследованных сортов ОРА ткани при стрессе снижалась незначительно, в пределах 1,8–2,8 мл KJO_3 на г СМ.

Мы рассчитали степень изменения вышеназванных субстратов в тканях листа *P. persica* при стрессе по уравнениям (9−11) и назвали эти изменения показателями антиоксидантной активности (ПАОА) ткани листа:

$$ПАОА = ОРА \text{ при стрессе} : ОРА \text{ в оптимальных условиях} \times 100 \quad (9)$$

$$ПАОА_1 = АК \text{ при стрессе} : АК \text{ в оптимальных условиях} \times 100 \quad (10)$$

$$ПАОА_2 = ВГТ \text{ при стрессе} : ВГТ \text{ в оптимальных условиях} \times 100 \quad (11)$$

В таблице 3.29 показаны данные расчетов этих показателей. У большинства тест-объектов $ПАОА_1$ был выше, чем $ПАОА_2$, т. е. они расходовали больше ВГТ на преодоление стресса, возможно, и для восстановления АК [Мецлер, 1980]. У сортов ‘Фаворита Мореттини’, ‘Ореховый’, ‘Редхавен’ и ‘Остряковский Белый’ $ПАОА_2$ оказался выше, чем $ПАОА_1$.

Таблица 3.29 – Показатели антиоксидантной активности ткани листа *P. persica*, 2001–2002 гг.

Сорт	ПАОА	$ПАОА_1$	$ПАОА_2$	$ПАОА_3 = \frac{ПАОА_1+ПАОА_2}{2}$
‘Небесный Тихоход’*	39	62	52	57
‘Фаворита Мореттини’	62	62	81	56
‘Пушистый Ранний’	65	68	61	65
‘Ак–Шефталю’	76	83	60	72
‘Ореховый’	84	77	80	78
‘Кандидатский’	86	95	68	82
‘Докторский’	88	95	80	88
‘Редхавен’	88	79	111	95
‘Стенфорд’	88	90	85	88
‘Остряковский Белый’	91	73	126	100
‘Беби Голд’	118	155	75	115
* Сорта размещены по возрастанию степени устойчивости к КС.				

Из таблицы 3.29 видно, что хотя показатели $ПАОА_1$ и $ПАОА_2$ для некоторых сортов могли значительно отличаться от ПАОА, но их полусумма в большинстве случаев близка или равна ПАОА. Использование $ПАОА_3$ позволяет с большей точностью подойти к относительной оценке сортов к КС. Так сорта ‘Докторский’, ‘Редхавен’ и ‘Стенфорд’ имели одинаковый ПАОА = 88, а $ПАОА_3$ у сорта ‘Редхавен’ оказался значительно выше, чем у двух других сортов.

У сорта ‘Небесный Тихоход’ $ПАОА_3$ был намного выше, чем ПАОА, что определяет его место в ряду относительной устойчивости после сорта ‘Фаворита Моретти’, что более логично, так как он имеет более поздний срок созревания. Однако, в основном, относительный ряд устойчивости остался тем же, поэтому на практике возможно использование любого из этих показателей, и в частности ПАОА, как интегрирующего и простого в определении. Согласно этому показателю приводим ряд относительной устойчивости изученных сортов *P. persica* к КС (таблица 3.30).

Таблица 3.30 – Относительная устойчивость сортов *P. persica* к КС

Сорт	Срок созревания	ПАОА	Группа устойчивости
‘Небесный Тихоход’	3 / VII*	39	неустойчивые
‘Фаворита Моретти’	1 / VII	62	неустойчивые
‘Пушистый Ранний’	2 / VII	65	неустойчивые
‘Ак-Шефталю’	2 / IX	76	слабоустойчивые
‘Ореховый’	3 / VII	84	слабоустойчивые
‘Кандидатский’	1 / VIII	86	слабоустойчивые
‘Докторский’	1 / VIII	88	слабоустойчивые
‘Редхавен’	1 / VIII	88	слабоустойчивые
‘Стенфорд’	2 / VIII	88	слабоустойчивые
‘Остряковский Белый’	2 / VIII	91	слабоустойчивые
‘Беби Голд’	2 / VIII	118	среднеустойчивые
* Декада / месяц; сроки созревания сортов приведены для степной зоны Крыма (СО НБС — ННЦ).			

Мы условно подразделили все исследованные тест-объекты *P. persica* на три группы относительной устойчивости. В группу неустойчивых вошли сорта с

ПАОА < 70 единиц, причем все они раннего или ранне-среднего срока созревания. Это подтверждает ранее высказанное положение о том, что сорта и виды растений, которые рано начинают и рано заканчивают вегетацию, или рано созревают, являются более чувствительными к стрессу. Кроме того, эти сорта имели высокий уровень ВГТ и ОРА и резко снижали его при стрессе. Это согласуется с утверждением В.С. Николаевского о том, что интенсивность фотодинамического окисления под влиянием кислых газов (SO_2, NO_2) у растений должна быть пропорциональна активности окислительно-восстановительных систем [Николаевский, 1963, 1979].

Сорта ‘Кандидатский’ и ‘Докторский’ имеют одинаковый срок созревания, принадлежат к одной гибридной семье ‘Лауреат’ х ‘Санрайз’, имеют близкие ПАОА и отнесены нами в группу слабоустойчивых с ПАОА от 70 до 90 единиц. В эту же группу вошли сорта селекции США: ‘Редхавен’ и ‘Стенфорд’, которые, возможно, созданы на базе местных адаптированных к более кислым условиям среды генотипов. Сорт ‘Беби Голд’ отнесен в группу среднеустойчивых к КС, так как его ПАОА был выше 100. Сорт ‘Остряковский Белый’ также является достаточно устойчивым к КС. Устойчивость их, а также сорта ‘Редхавен’, подтверждает и тот факт, что они оказались и наиболее продуктивными из изученных сортов в данной зоне. Их урожайность при схеме посадки 6 х 4 м превысила 20 т/га в степном Крыму [Клименко и др., 2004]. Это связано еще и с тем, что увеличение содержания АК, ВГТ и повышение активности ферментов оксидоредуктаз (пероксидазы, каталазы, полифенолоксидазы и др.) в растениях отражает проявление защитных свойств организма к любому экологическому стрессу и параллелизму между различными видами устойчивости [Илькун, 1971; Кулагин, 1974; Николаевский, 1979; Удовенко, 1979; Рачковская, 1980], в частности к засухе [Leece, 1976], морозам [Бессонова и др., 2010] и засолению [Шевякова, Лошадкина, 1965; Савельева, 2015], что может проявиться в степном Крыму.

Таким образом, ответная реакция тест-объектов *P. persica* на КО проявлялась в изменении количества субстратов АОС. Одни из них, преимущественно раннего срока созревания, снижали содержание АК, ВГТ и ОРА ткани, другие, наоборот, повышали.

На основании степени изменения ОРА ткани в постстрессовый период предложен ПАОА ткани и разработанный на его основе ряд относительной устойчивости сортов *P. persica* к КС. Сорта раннего и ранне-среднего срока созревания оказались более чувствительными к воздействию ИКД сульфатного состава. Более устойчивыми признаны сорта среднего и среднепозднего срока созревания селекции США и созданные отечественными селекционерами с их участием. Это такие сорта как ‘Редхавен’, ‘Стенфорд’, ‘Остряковский Белый’ и ‘Беби Голд’.

3.4.3. Оценка относительной устойчивости сортов *Prunus armeniaca* L. к кислотным осадкам по показателю антиоксидантной активности ткани листа

Для оценки относительной устойчивости сортов *P. armeniaca* к КС использовались те же показатели и подходы, что и для сортов *P. persica*. Так, концентрация АК в листьях *P. armeniaca* в контроле колебалась от 1,02 до 1,81 мг/г СМ листа в зависимости от сорта (рисунок 3.22). В целом, по породе, содержание АК составило 1,46 мг/г СМ, что несколько выше, чем у изученной группы сортов *P. persica*. У сортов ‘Старк Ранний Оранжевый’, ‘Олимп’, ‘Табу’ и ‘Хендерсон’ содержание АК было выше, чем в среднем по породе, а у ‘Крымский Амур’, ‘Костинский’ и ‘Еревани’ — несколько ниже. Наименьшая концентрация АК в листьях обнаружена у сорта ‘Выносливый’ — 1,02 мг/г СМ.

КС вызывал снижение концентрации АК у большинства исследованных сортов *P. armeniaca*, наиболее значительное у ‘Старк Ранний Оранжевый’ до 1,12 мг/г СМ листа, или на 35% относительно контроля. У сортов ‘Крымский Амур’, ‘Костинский’ и ‘Еревани’ она, наоборот, возрастала, особенно значительно у последних двух.

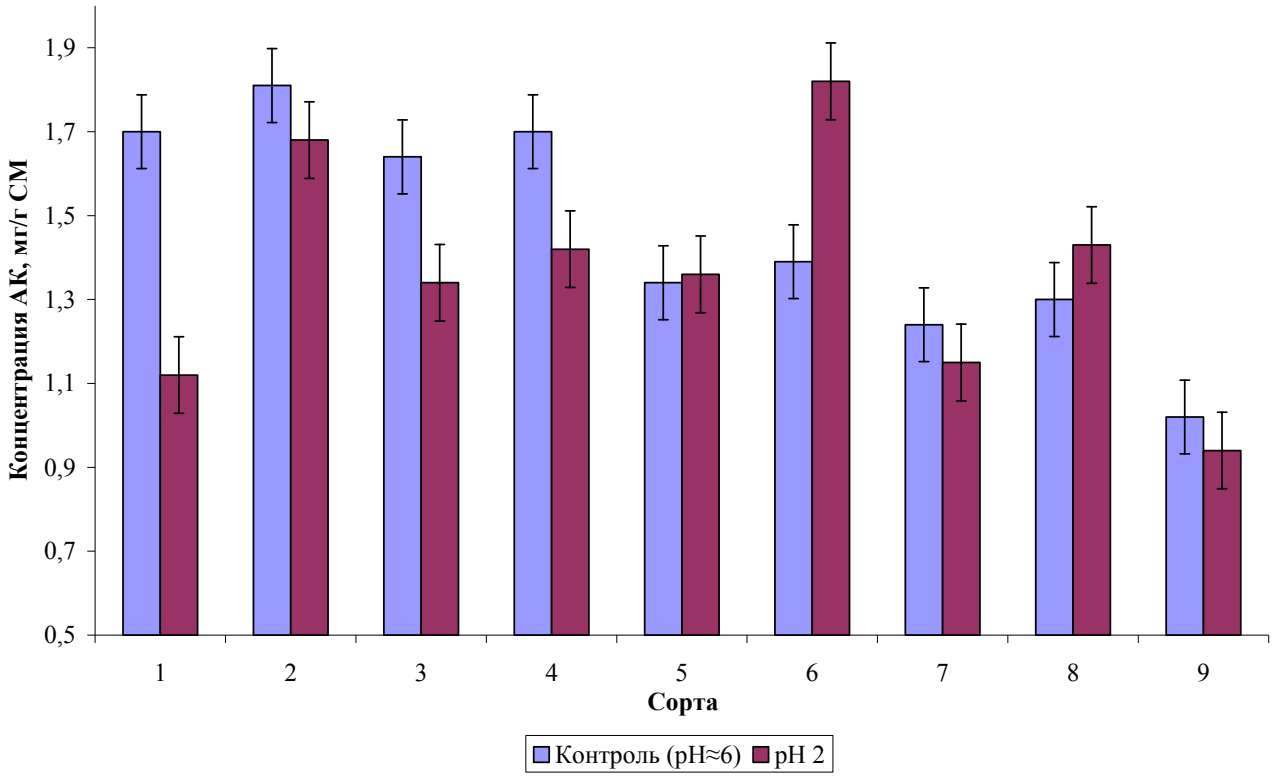

Рисунок 3.22. Концентрация АК в ткани листа сортов *P. armeniaca* в условиях КС.

Примечание. 1 – ‘Старк Ранний Оранжевый’, 2 – ‘Олимп’, 3 – ‘Табу’, 4 – ‘Хендерсон’, 5 – ‘Крымский Амур’, 6 – ‘Еревани’, 7 – ‘Крымский Медунец’, 8 – ‘Костинский’, 9 – ‘Выносливый’ (сорта размещены по возрастанию степени устойчивости к КС)

Концентрация ВГТ в листьях *P. armeniaca* колебалась от 0,05 до 0,75 мг/г СМ, и среднее по всем сортам составило 0,50 мг/г СМ, что значительно ниже, чем у большинства изученных сортов *P. persica* (рисунок 3.23).

Не отмечено значительных различий в содержании этого субстрата у большинства изученных сортов *P. armeniaca*, и только у ‘Старк Ранний Оранжевый’ и ‘Еревани’ она достигала 0,75 и 0,71 мг/г СМ соответственно. Самой низкой она была у ‘Табу’ и ‘Хендерсона’ (0,20 и 0,05 мг/г СМ соответственно).

Под влиянием КС концентрация ВГТ в тканях листа могла как увеличиваться у сортов ‘Старк Ранний Оранжевый’, ‘Табу’, ‘Хендерсон’, ‘Костинский’ и ‘Еревани’, так и снижаться. Наиболее значительно это

происходило у гибридных сортов ‘Крымский Медунец’, ‘Олимп’ и ‘Крымский Амур’.

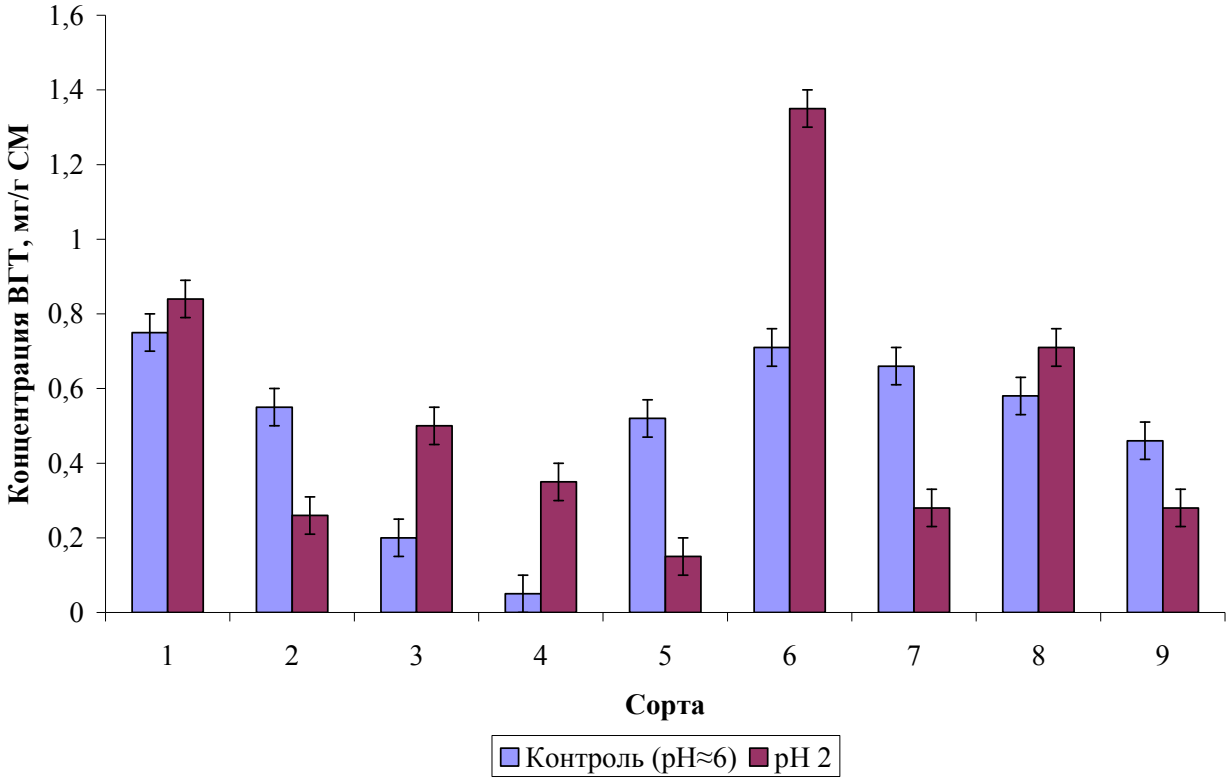

Рисунок 3.23. Концентрация ВГТ в ткани листа *P. armeniaca* в условиях КС

Примечание. 1 – ‘Старк Ранний Оранжевый’, 2 – ‘Олимп’, 3 – ‘Табу’, 4 – ‘Хендерсон’, 5 – ‘Крымский Амур’, 6 – ‘Еревани’, 7 – ‘Крымский Медунец’, 8 – ‘Костинский’, 9 – ‘Выносливый’ (сорта размещены по возрастанию степени устойчивости к КС)

ОРА ткани листа *P. armeniaca* в контроле была выше у сортов раннего срока созревания: ‘Старк Ранний Оранжевый’, ‘Олимп’, ‘Табу’ и ‘Хендерсон’ (рисунок 3.24). У более поздних сортов гибридной группы (‘Крымский Медунец’ и ‘Костинский’), где одним из родителей был ‘Еревани’, ОРА составила 16–17 мл KJO_3/г СМ листа.

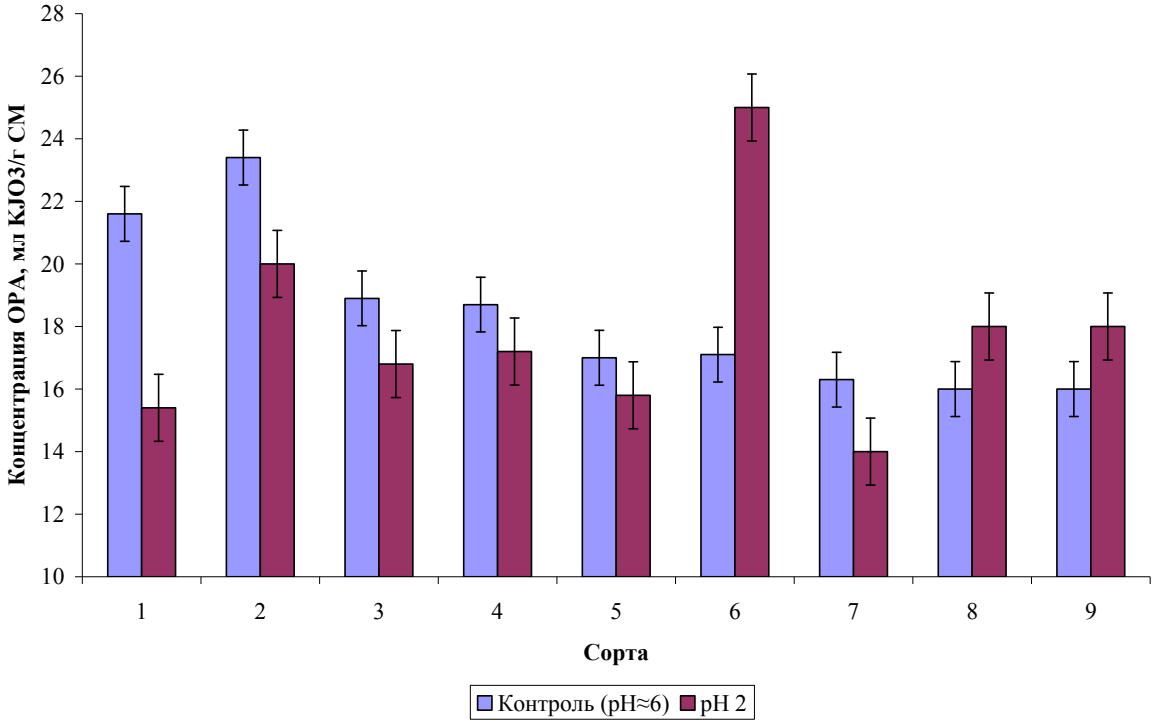

Рисунок 3.24. Концентрация ОРА ткани листа *P. armeniaca* в условиях КС.

Примечание. 1 – ‘Старк Ранний Оранжевый’, 2 – ‘Олимп’, 3 – ‘Табу’, 4 – ‘Хендерсон’, 5 – ‘Крымский Амур’, 6 – ‘Еревани’, 7 – ‘Крымский Медунец’, 8 – ‘Костинский’, 9 – ‘Выносливый’ (сорта размещены по возрастанию степени устойчивости к КС)

При стрессе содержание ОРА ткани листа значительно и достоверно снизилась у сортов раннего и ранне-среднего срока созревания: ‘Старк Ранний Оранжевый’ и ‘Олимп’. Это было связано, в основном, со снижением концентрации АК при стрессе. У сортов ‘Костинский’ (‘Выносливый’ х ‘Еревани’) и ‘Еревани’, как близких родственников, наблюдалось увеличение ОРА ткани листа за счет значительного увеличения концентрации АК и ВГТ. Это, согласно мнению В.П. Бессоновой с соавторами [Безсонова и др., 1989, 2010], и определяет большую устойчивость этих сортов к КС.

В связи с тем, что у различных сортов *P. armeniaca* содержание субстратов АОС при стрессе могло, как снижаться, так и увеличиваться, мы рассчитали ПАОА при КС так же, как для растений *P. persica*. Чем выше этот показатель, тем устойчивее, активнее АОС организма при КС [Клименко и др., 2004]. В нашем

случае для растений *P. armeniaca* его значения колебались от 71 до 146 единиц (таблица 3.31).

Таблица 3.31 – Относительная устойчивость сортов *P. armeniaca* к КС

Сорт	Срок созревания	ПАОА	Группа устойчивости
‘Старк Ранний Оранжевый’	1 / VII*	71	неустойчивые
‘Крымский Медунец’	2 VII	86	слабоустойчивые
‘Олимп’	2 VII	86	слабоустойчивые
‘Табу’	2–3 / VII	89	слабоустойчивые
‘Хендерсон’	3 / VII	91	слабоустойчивые
‘Крымский Амур’	3 / VII	93	слабоустойчивые
‘Выносливый’	3 / VII –1 / VIII	97	слабоустойчивые
‘Костинский’	2 / VII	112	среднеустойчивые
‘Еревани’	2 VII	146	среднеустойчивые
* Декада / месяц; сроки созревания сортов приведены для степной зоны Крыма (СО НБС − ННЦ).			

Неустойчивым к стрессу оказался ‘Старк Ранний Оранжевый’, имеющий ПАОА, равный 71. Это сорт раннего срока созревания, что подтверждает вывод о большей чувствительности ранних сортов плодовых растений к КД, сделанный по внешним симптомам повреждения.

Сорта ‘Костинский’ и ‘Еревани’ отнесены нами в группу среднеустойчивых к КС. Они имеют ПАОА более 100. Сорт ‘Еревани’ наиболее относительно устойчив в данной группе сортов.

Гибриды с участием этого сорта в качестве материнской формы по-разному реагировали на КС. Так, генотип ‘Костинский’, полученный от скрещивания ‘Выносливый’ на ‘Еревани’, занял среднее положение между родительскими формами по реакции на КС и получил ПАОА равный 112. Другие сорта этой гибридной семьи — ‘Крымский Медунец’ (‘Степняк’ х ‘Еревани’) и ‘Олимп’ (‘Выносливый’ х ‘Еревани’), имели меньшую устойчивость к стрессу и одинаковый ПАОА, равный 86.

Таким образом, установлено, что реакция растений *P. armeniaca* на КС определяется генотипом. У части исследованных сортов при стрессе происходило снижение содержания АК и ОРА ткани листа (‘Старк Ранний Оранжевый’,

‘Крымский Медунец’, ‘Олимп’ и др.), у других — увеличение (‘Выносливый’, ‘Костинский’, ‘Еревани’). Доказано, что степень изменения ОРА ткани листа при КС может служить тестовым показателем антиоксидантной активности. Сорта *P. armeniaca* подразделены на три группы относительной устойчивости по этому показателю. Наиболее устойчивыми к КС признаны ‘Выносливый’, ‘Костинский’ и ‘Еревани’, наиболее чувствительными — сорта более раннего срока созревания — ‘Старк Ранний Оранжевый’, ‘Крымский Медунец’ и ‘Олимп’.

3.4.4. Определение относительной устойчивости сортов *Prunus cerasifera* Ehrh. и *Prunus domestica* L. к кислотным осадкам

Изученные тест-объекты *P. cerasifera* имели очень высокую ОРА ткани листа в контроле (таблица 3.32).

Таблица 3.32 – Изменение содержания некоторых антиоксидантов в листьях *P. cerasifera* и показатель ПАОА при кратковременном воздействии ИКД сульфатного состава (2004–2005 гг.)

Сорт	Вариант	ОРА, мл KYO3/г СМ	АК	ВГТ	ПАОА
			мг/г СМ		
‘Десертная’	Контроль	22,5 ± 0,5	0,60 ± 0,06	1,67 ± 0,63	96
	pH 2	21,5 ± 0,5	0,66 ± 0,01	5,22 ± 0,01*	
‘Люша Крупная’	Контроль	43,5 ± 0,5	2,29 ± 0,01	5,37 ± 0,15	98
	pH 2	42,5 ± 0,5	2,52 ± 0,01*	4,26 ± 0,16	
‘Никитская Желтая’	Контроль	41,5 ± 0,01	3,55 ± 0,01	0,37 ± 0,01	92
	pH 2	38,0 ± 0,01*	3,43± 0,01*	0,01 ± 0,01	
‘Обильная’	Контроль	37,0 ± 0,01	2,29 ± 0,01	3,38 ± 0,01	115
	pH 2	42,5 ± 0,5*	2,91 ± 0,06*	2,87 ± 0,05	
‘Субхи Ранняя’	Контроль	20,5 ± 0,5	0,94 ± 0,01	3,01 ± 0,15	146
	pH 2	30,0 ± 0,5*	1,14 ± 0,07*	5,22 ± 0,25*	
*Разница с контролем соответствующего сорта существенна, $p \leq 0,05$.					

ИКД у большинства сортов приводил как к ее снижению, существенному у сорта ‘Никитская Желтая’. У сортов ‘Обильная’ и ‘Субхи Ранняя’ содержание ОРА при стрессе увеличивалось достоверно по отношению к контролю. У тест-

объекта ‘Никитская Желтая’ достоверно снижена концентрация АК при КС до 3,43 мг/г СМ. У остальных изученных сортов содержание АК увеличивалось, причем существенное увеличение этого показателя отмечено у ‘Люша Крупная’, ‘Обильная’ и ‘Субхи Ранняя’. При этом произошло снижение концентрации ВГТ у двух первых из них на 1,11 и 0,51 мг/г СМ соответственно, что связано, видимо, с участием его в восстановлении АК. У сорта ‘Субхи Ранняя’ содержание ВГТ при КС увеличилось одновременно с увеличением концентрации других антиоксидантов, что говорит о значительной устойчивости этого сорта к такому виду воздействия и подтверждает реакцию тест-объекта на ИКД на морфологическом уровне.

Рассчитанные ПАОА наиболее высокими оказались у тест-объектов ‘Субхи Ранняя’ и ‘Обильная’, что характеризует высокую их устойчивость к стрессу. Устойчивость остальных сортов была ниже, и они имели показатели ПАОА, близкие к 100 (таблица 3.32).

Таким образом, все изученные тест-объекты *P. cerasifera* оказались более устойчивыми к КО, чем большинство исследованных сортов *P. persica* и P. *armeniaca*. Наиболее стойкими оказались ‘Обильная’ и ‘Субхи Ранняя’.

Изученные сорта *P. domestica* имели невысокие и близкие значения ОРА ткани в контроле (таблица 3.33). Воздействие ИКД привело к снижению этого показателя у большинства изученных сортов, особенно значительному и достоверному относительно контроля у ранних ‘Блюфри’ и ‘Гилберт’, что может свидетельствовать об их большей чувствительности к стрессу. У сортов ‘Калифорнийская’ и ‘Стенлей’ этот показатель достоверно увеличивался при стрессе, особенно значительно у второго до 29 мл за счет увеличения концентрации АК у обоих сортов и значительного увеличения ВГТ у последнего. Все это свидетельствует о довольно высокой устойчивости тест-объектов *P. domestica* к КС и быстрой адаптации растений при изменении условий среды.

Таблица 3.33 – Воздействие ИКД сульфатного состава на содержание АК, ВГТ и ОРА в листьях *P. domestica* и ПАОА (2004–2005 гг.)

Сорт	Вариант	АК	ВГТ	ОРА, мл KJO_3/г СМ	ПАОА
		мг/г СМ			
‘Блюфри’	Контроль	1,68 ± 0,02	0,4	19,5 ± 0,5	95
	pH 2	1,68 ± 0,02	не опр.	18,5 ± 0,5	
‘Гилберт’	Контроль	1,97 ± 0,03	не опр.	21,4 ± 0,10	86
	pH 2	1,64 ± 0,11	0,18	18,4 ± 0,35*	
‘Кабардинская Ранняя’	Контроль	1,89 ± 0,05	0,34	21,5 ± 0,5	95
	pH 2	1,84 ± 0,01	0,03	20,5 ± 0,5	
‘Калифорнийская’	Контроль	1,77 ± 0,03	не опр.	19,5 ± 0,5	115
	pH 2	2,00±0,01*	не опр.	22,5 ± 0,01*	
‘Ренклод Альтана’	Контроль	1,77 ± 0,07	0,83	21,0 ± 0,5	93
	pH 2	1,68 ± 0,02	0,40	19,5 ± 0,5	
‘Стенлей’	Контроль	1,25 ± 0,03	1,48 ± 0,06	19,0 ± 0,1	153
	pH 2	1,37 ± 0,04	4,11±0,02*	29,0 ± 0,1*	
*Разница с контролем соответствующего сорта существенна, $p \leq 0,05$.					

Показатели ПАОА ткани у большинства изученных сортов *P. domestica* были близки в 100, а у ‘Стенлей’ ПАОА значительно превышал эту величину. Согласно этим показателям можно расположить изученные тест-объекты *P. domestica* в возрастающий ряд относительной устойчивости к КС: ‘Гилберт’ < ‘Ренклод Альтана’ < ‘Блюфри’ = ‘Кабардинская Ранняя’ < ‘Калифорнийская’ < ‘Стенлей’. Из приведенного ряда видно, что наименее устойчивыми оказались сорта раннего срока созревания, что подтверждает выводы, сделанные для *P. persica* и *P. armeniaca*.

На основании результатов исследований воздействия ИКД на растения рода *Prunus*, мы подразделили все изученные сорта на четыре группы устойчивости к КС: чувствительные, слабоустойчивые, среднеустойчивые и устойчивые (таблица 3.34). В группу чувствительных к КС в нашей шкале устойчивости вошли сорта, ПАОА которых ≤ 71.

Таблица 3.34 – Устойчивость сортов плодовых растений рода *Prunus* к кислотным осадкам

Сорт	Срок созрева-ния	Неустой-чивые	Слабо-устойчи-вые	Средне-устойчи-вые	Устойчивые
P. persica					
‘Ак–Шефталю’	2 / IX*	-	+	-	-
‘Беби Голд’	3 / VIII	-	-	+	-
‘Докторский’	1 / VIII	-	+	-	-
‘Кандидатский’	1 / VIII	-	+	-	-
‘Небесный Тихоход’	3 / VII	+	-	-	-
‘Ореховый’	3 / VII	-	+	-	-
‘Остряковский Белый’	2–3 / VII	-	+	-	-
‘Пушистый Ранний’	2 / VII	+	-	-	-
‘Редхавен’	2 / VIII	-	+	-	-
‘Стенфорд’	2 / VII	-	+	-	-
‘Фаворита Мореттини’	1 / VII	+	-	-	-
P. armeniaca					
‘Еревани’ (‘Шалах’)	1 / VII	-	-	+	-
‘Выносливый’	3/VII–1/VIII	-	+	-	-
‘Крымский Амур’	3 / VII	-	+	-	-
‘Крымский Медунец’	2 / VII	-	+	-	-
‘Костинский’	2 / VII	-	-	+	-
‘Олимп’	2 / VII	-	+	-	-
‘Старк Ранний Оранжевый’	2 / VII	+	-	-	-
‘Табу’	2–3 / VII	-	+	-	-
‘Хендерсон’	2 / VII	-	+	-	-
P. cerasifera					
‘Десертная’	2 / VIII	-	+	-	-
‘Люша Крупная’	3 / VII	-	+	-	-
‘Никитская Желтая’	2 / VII	-	+	-	-
‘Обильная’	3 / VII	-	-	+	-
‘Субхи Ранняя’	1 / VII	-	-	+	-
P. domestica					
‘Блюфри’	2 / VII	-	+	-	-
‘Гилберт’	1–2 / VII	-	+	-	-
‘Кабардинская Ранняя’	2–3 / VII	-	+	-	-
‘Калифорнийская'	3 / VIII	-	-	+	-
‘Ренклод Альтана’	2–3 / VIII	-	+	-	-
‘Стенлей’	1 / IX	-	-	-	+
* Декада / месяц					

Это сорта *P. persica* раннего срока созревания ‘Небесный Тихоход’, ‘Пушистый Ранний’, ‘Фаворита Моретти’ и один сорт *P. armeniaca* раннего срока созревания ‘Старк Ранний Оранжевый’. Во вторую, самую многочисленную группу с ПАОА от 76 до 100, вошло примерно одинаковое количество сортов *P. armeniaca* и *P. persica*. В основном это сорта среднего срока созревания.

Наиболее высокие ПАОА в этой группе устойчивости выявлены у сортов *P. armeniaca* ‘Выносливый’ и ‘Крымский Амур’. В эту же группу вошло большинство сортов *P. cerasifera* и *P. domestica* из числа изученных.

К среднеустойчивым мы отнесли один сорт *P. persica*, два сорта *P. armeniaca*, два сорта *P. cerasifera* и один сорт *P. domestica*. Наиболее устойчивыми в этой группе оказались: сорт *P. armeniaca* ‘Еревани’ и *P. cerasifera* ‘Субхи Ранняя’. Сорт ‘Стенлей’ отнесен нами в группу устойчивых к КС. Это сорт позднего срока созревания, проявивший очень слабые внешние признаки повреждения даже при ИКД с pH 2. Его антиоксидантная система оказалась адаптивной к КС.

Это не совпадает с точкой зрения T. Pauly, C. Lohou [1992], и W. Poniedzialek, K. Nosal [1985], которые считают *P. domestica* наиболее чувствительной из изученных ими растений. В.С. Николаевский [1979], наоборот, считал сливу среднеустойчивой к сернистому газу и хлору для условий востока Европейской части СССР. Возможно, здесь играют роль не только вид, но и сорт (подвид, разновидность, форма) плодового растения, так как разница в устойчивости между сортами одного вида нередко может быть больше, чем между видами растений [Reuter, 1988].

С другой стороны, наши данные согласуются с результатами исследований А.К. Полякова [2009] по газоустойчивости растений в условиях юго-востока Украины. В его сортименте *P. armeniaca* отнесен к группе растений с высокой газоустойчивостью, что согласуется с нашими данными для ряда сортов *P. armeniaca.*

Таким образом, исследован ряд загрязняющих ионов в атмосферных осадках, особое внимание было уделено содержанию сульфатных, нитратных и хлоридных ионов, способных подкислять осадки. Установлено, что с течением времени

концентрация сульфатных ионов снижалась, а нитратных и хлоридных – увеличивалась, что отражает общеевропейскую тенденцию. Это и вызывало подкисление атмосферных осадков во времени до pH 3,7−4,0, особенно в теплый период года, что совпадает с периодом вегетации плодовых растений.

Для данного региона наблюдений определены зависимости между концентрациями свободных ионов водорода и различными ионами химических примесей отдельно для теплого и холодного периодов года. Установлены химические примеси, которые могут подкислять осадки. Впервые установлена закономерность изменения величины pH атмосферных осадков степного Крыма по месяцам года.

На моделях показано, что КД с pH ≤ 4 может вызывать повреждения листового аппарата, угнетать рост, приводить к потере продуктивности, снижать качество плодов плодовых растений рода *Prunus*. Степень повреждений и негативных изменений зависела от состава дождя и генотипа растения. КД сульфатного состава в большинстве случаев приводил к большему снижению всех изученных показателей, чем нитратного или сульфатно-нитратного. Виды и сорта изученных плодовых растений, оцененные по этим показателям, имели разную устойчивость к КО. Эта устойчивость зависела от активности АОС растения. На основании исследования некоторых ее компонентов впервые был предложен показатель антиоксидантной активности ткани листа (ПАОА), отражающий степень изменения общей редуцирующей активности (ОРА) под действием кислотного стресса по сравнению с нормальными условиями. По этому показателю оценены сорта плодовых растений рода *Prunus* и разработана шкала их устойчивости к кислотным осадкам. По степени устойчивости к КО изученные виды растений составили следующий убывающий ряд: слива > алыча > абрикос > персик. Среди сортов в пределах одного вида наименее устойчивыми были сорта раннего срока созревания (персик, абрикос). У алычи происхождение имело большее значение, чем срок созревания. Слива была наиболее устойчива к КО. Сорта, имеющие ПАОА ниже 100, отнесены нами в группу чувствительных и слабоустойчивых, выше 100 – к среднеустойчивым и устойчивым к КО.

РАЗДЕЛ 4
ОЩЕЛАЧИВАНИЕ ПОЧВ КАК ЛИМИТИРУЮЩИЙ ФАКТОР В САДОВЫХ АГРОЦЕНОЗАХ СТЕПНОГО КРЫМА

Процессы ощелачивания орошаемых плантажированных почв под садами и реакция плодовых растений, которые считаются чувствительными к повышенному содержанию щелочных солей в эдафотопе, изучались нами на протяжении ряда лет [Клименко, Иванов, 1984; Клименко, 1988, 1992, 1993, 2016; Клименко, Клименко, 1997, 2006]. Целью данной работы было обобщить полученные результаты и оценить современные масштабы и степень ощелачивания длительно орошаемых садопригодных почв степного Крыма и возможность создания адаптивных и устойчивых садовых агроценозов на этих почвах путем рационального размещения плодовых культур или мелиорации в случае превышения концентрации токсичных щелочных солей выше допустимой. На примере *Prunus cerasifera* предстояло оценить устойчивость различных сортов к вредным щелочным солям в орошаемой почве и разработать допустимые и реально оптимальные показатели этого лимитирующего фактора. Ставилась задача также оценить воздействие ощелачивания на другие свойства почвы и минеральное питание плодовых растений для выбора индикаторных показателей реакции автотрофного компонента садового агроценоза на этот комплексный экологический фактор.

4.1. Образование токсичных щелочных солей под влиянием орошения и плантажной вспашки в почвах степного Крыма и рациональное размещение плодовых культур

Черноземы южные (агрочерноземы сегрегационные] на лессовидных отложениях распространены в пониженной засушливой части типичной степи (степь Южная Крымская) и приурочены к плоским широким водораздельным пространствам [Половицкий, Гусев, 1987]. Данные показывают, что сода (Na_2CO_3)

в этих почвах в слое 0–50 см отсутствовала. На глубине 50–150 см ее содержание было невысоким и колебалось в пределах 0,02–0,05 смоль(экв)/кг, а в среднем составляло 0,03 ± 0,01 смоль(экв)/кг (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Содержание щелочных солей (смоль(экв)/кг) и частота их встречаемости (%) в орошаемых почвах степного Крыма, 1997–2013 гг.

Почва	Число определений	Na_2CO_3		$Mg(HCO_3)_2 + NaHCO_3$		
		в слое, см				
		50–100	100–150	0–50	50–100	100–150
Черноземы южные (агрочерноземы сегрегационные)	25	0,03 ±0,01* 43	0,03 ±0,01 52	0,10±0,02 52	0,14±0,02 86	0,19±0,03 81
Те же плантажированные (турбированные)	91	0,04 ± 0,01 37	0,04±0,01 51	0,07±0,01 33	0,15±0,01 88	0,21±0,02 74
Черноземы южные мицелярно-карбонатные (агрочерноземы миграционно-сегрегационные)	30	0,04±0,01 53	0,04±0,01 47	0,04±0,02** 13	0,14±0,01 80	0,20±0,02 53
Черноземы южные слабосолонцеватые (агрочерноземы сегрегационные слабосолонцеватые)	39	0,03±0,01 36	0,04±0,01 46	0,06±0,01 56	0,17±0,01 87	0,21±0,01 92
Примечание – Все почвы сформировались на лессовидных отложениях; * над чертой – среднее в слое, под чертой – частота встречаемости, ** разница с черноземами южными (агрочерноземами сегрегационными) существенна, $p \leq 0,05$.						

Несмотря на низкое содержание соды в этих почвах, вероятность ее встречаемости была высокой (43–52%) и максимальной в слое 100–150 см. Средние значения содержания гидрокарбонатов натрия и магния ($Mg(HCO_3)_2$ + $NaHCO_3$) в этой почве были невысокими и возрастали с глубиной. Максимальные их величины достигали 0,30–0,45 смоль(экв)/кг в слое 50–150 см, что может негативно отразиться на росте и продуктивности плодовых растений.

Вероятность встречаемости $Mg(HCO_3)_2$ + $NaHCO_3$ в слое 0–50 см была средней, значительно возрастала вниз по профилю и была максимальной в слое

50–100 см. Таким образом, процессы ощелачивания в этих почвах наиболее интенсивно протекали в слое 50–150 см.

Проведение плантажной вспашки на черноземах южных (агрочерноземы сегрегационные турбированные) вызвало тенденцию к увеличению среднего содержания Na_2CO_3 в эдафотопе при некотором снижении вероятности ее встречаемости по сравнению с неплантажированными почвами и максимумом в слое 100–150 см. При этом концентрация Na_2CO_3 в отдельных разрезах достигала 0,10 смоль(экв)/кг. Содержание суммы гидрокарбонатов натрия и магния в черноземах южных плантажированных в слое 0–50 см было незначительным, вниз по профилю оно существенно увеличивалось, и было максимальным в слое 100–150 см. В слое 50–150 см наблюдалась тенденция к увеличению содержания этих солей и вероятности их встречаемости по сравнению с неплантажированными почвами. Максимальные величины токсичной щелочности в слое 50–150 см достигали 0,43–0,50 смоль(экв)/кг, что делало часть этих почв непригодными под закладку плодовых культур *P. persica*, *C. avium* и *M. domestica*.

Черноземы южные мицелярно-карбонатные (агрочерноземы миграционно-сегрегационные) на лессовидных отложениях в пределах степи южной Крымской занимают площадь 457,3 тысяч гектаров, что составляет 23,7% от общей площади земель Крыма, и успешно используются под многолетние насаждения [Половицкий, Гусев, 1987]. Длительное орошение этих почв из СКК привело к тому, что Na_2CO_3 обнаруживалась на глубине 50–150 см в количествах 0,03–0,05 смоль(экв)/кг, что в среднем составило 0,04±0,01 смоль(экв)/кг (таблица 4.1). Вероятность ее встречаемости была высокой с максимумом в слое 50–100 см, и близка к той, что обнаружена в черноземах южных.

Содержание суммы гидрокарбонатов натрия и магния в этих почвах в слое 0–50 см было низким и возрастало вниз по профилю и достигало максимума в слое 100–150 см. В слое 50–150 см содержание этих солей было почти равно таковому у агрочерноземов сегрегационных, но размах колебаний и максимальные значения были ниже (0,18–0,35 смоль(экв)/кг), с высокой вероятностью их встречаемости в слое 50–100 см.

Черноземы южные (агрочерноземы сегрегационные) слабосолонцеватые на лессовидных глинах распространены в полосе перехода Присивашской низменности в Центральную возвышенную равнину и занимают площадь 57,7 тыс. га [Половицкий, Гусев, 1987]. Содержание Na_2CO_3 в этих почвах и вероятность ее встречаемости были близкими к тем, что наблюдались в черноземах южных (агрочерноземах сегрегационных). Содержание суммы гидрокарбонатов натрия и магния колебалось от 0,02 до 0,38 смоль(экв)/кг и увеличивалось с глубиной, а средние их значения в слое 50–150 см были выше, чем у черноземов южных (агрочерноземов сегрегационных) на 0,02–0,03 смоль(экв)/кг и достигали 0,17–0,21 смоль(экв)/кг. Вероятность встречаемости этих солей в слое 50–150 см возрастала до 87–92 % и превышала таковую в черноземах южных обычных (агрочерноземах сегрегационных). В данном случае повышение концентрации гидрокарбонатов натрия и магния и частоты их встречаемости можно объяснить более высоким содержанием обменного натрия (5–10% от емкости обмена), который при рассолонцевании, образует соду и гидрокарбонаты. Это свидетельствует о меньшей пригодности этих почв под плодовые насаждения по сравнению с черноземами южными (агрочерноземами сегрегационными).

Лугово-черноземные карбонатные плантажированные (агрочерноземы карбонатные квазиглееватые турбированные) почвы на древнем глинистом аллювии сформировались на наиболее повышенных участках древних дельт и вторых надпойменных террас речных долин, не испытывающих сейчас пойменно-аллювиальных процессов, а также в днищах балок и неглубоких понижениях мезорельефа. Сода в этих почвах встречалась эпизодически во всей исследуемой толще, вероятно, в связи с проведением плантажной вспашки. Среднее содержание Na_2CO_3 составило в 0,04 смоль(экв)/кг, частота встречаемости была низкой (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Содержание щелочных солей (смоль(экв)/кг) и частота их встречаемости (%) в орошаемых почвах степного Крыма, 1997–2013 гг.

Почва	Число определений	Сода			Сумма гидрокарбонатов натрия и магния		
		в слое, см					
		0–50	50–100	100–150	0–50	50–100	100–150
Лугово-черноземные карбонатные плантажированные (агрочерноземы сегрегационные карбонатные квазиглееватые турбированные) на древнем глинистом аллювии	44	0,03±0** 7	0,04±0,01 7	0,04±0,01 9	0,10±0,01 71	0,12±0,01 80	0,16±0,02 82
Лугово-черноземные карбонатные (агрочерноземы карбонатные квазиглееватые) глубокосолончаковатые на лёссовидных отложениях	12	нет	нет	нет	0,09±0,02 75	0,12±0,02 83	0,22±0,04 92
Те же плантажированные (турбированные)	30	0,04±0,01 12	0,04±0,01 25	0,04±0,01 34	0,08±0,01 66	0,19±0,01* 93	0,20±0,05 79
Черноземно-луговые слабосолонцеватые (агрогумусово-квазиглеевые слабосолонцеватые) на лёссовидных отложениях	9	нет	нет	нет	0,08±0,02 67	0,22±0,02 100	0,29±0,08 67
Те же плантажированные (турбированные)	6	нет	нет	0,04±0,01 34	0,17±0,06 83	0,31±0,05 100	0,42±0,09 83
Лугово-каштановые (агрокаштановые квазиглееватые) глубокосолончаковатые на лессовидных отложениях	5	нет	нет	нет	нет	0,10±0,05 67	0,26±0,03 67
Те же остаточносолонцеватые плантажированные (турбированные) на лёссовидных глинах	18	нет	нет	нет	0,12±0,02 28	0,24±0,02* 100	0,31±0,04 83
Каштаново-луговые слабосолонцеватые (агрогумусово-квазиглеевыеслабосолонцеватые) глубокосолончаковатые на лёссовидных отложениях	24	нет	нет	нет	0,09±0,02 55	0,24±0,04 100	0,29±0,03 50

* Разница с соответствующими неплантажированными (турбированными) почвами существенна, $p \leq 0,95$; ** над чертой – среднее в слое ± стандартная ошибка среднего; под чертой – частота встречаемости.

Содержание гидрокарбонатов натрия и магния в среднем составляло 0,10–0,16 смоль(экв)/кг, увеличиваясь с глубиной. Нередко их значения повышались до 0,38–0,40 смоль(экв)/кг. Вероятность встречаемости этих солей составила 71–82%, и была максимальной в слое 50–150 см. В связи с тем, что эти почвы считаются эталоном плодородия садовых почв Крыма [Иванов и др., 1998], их спорадическое ощелачивание несколько снижает плодородие, и часть почв будет непригодна под *M. domestica*, *P. persica* и *C. avium* без мелиорации.

Лугово-черноземные карбонатные (агрочерноземы карбонатные квазиглееватые) почвы, сформировавшиеся на эолово-делювиальных лёссовидных отложениях, не содержали соды. Величины $Mg(HCO_3)_2 + NaHCO_3$ в слое 0–100 см были небольшими (0,10–0,12 смоль(экв)/кг), ниже по профилю их среднее значение увеличивалось до 0,22 смоль(экв)/кг, а максимальные достигали 0,40–0,58 смоль(экв)/кг. Это свидетельствует о перемещении максимума ощелачивания в нижележащие слои почвы в связи эволюцией процессов рассоления. Вероятность встречаемости этих солей была высокой и превышала таковую на аналогичных почвах, развившихся на аллювиальных отложениях.

Проведение плантажной вспашки на лугово-черноземных карбонатных почвах способствовало усилению процессов ощелачивания (таблица 4.2). Во всей исследованной толще почв эпизодически появлялась Na_2CO_3 в количестве 0,03–0,05 смоль(экв)/кг с частотой 19–43 % случаев, содержание $Mg(HCO_3)_2 + NaHCO_3$ значительно увеличивалось, нередко до 0,32–0,57 смоль(экв)/кг с вероятностью 79–93 %.

Черноземно-луговые (агрогумусово-квазиглеевые) слабосолонцеватые почвы на лёссовидных отложениях не содержали соды. Концентрация $Mg(HCO_3)_2 + NaHCO_3$ в среднем была невысокой (0,08–0,24 смоль(экв)/кг) с максимумом 0,33–0,50 смоль(экв)/кг в слое 100–150 см. Вероятность встречаемости этих солей составляла 67–100% и была максимальной в слое 50–100 см.

Проведение плантажной вспашки на таких почвах способствовало образованию Na_2CO_3 в слое 100–150 см в количествах 0,02–0,05 смоль(экв)/кг, где она встречалась с вероятностью 12–34%. Содержание гидрокарбонатов натрия и

магния увеличивалось во всей исследованной толще почвы, значительно в слое 100–150 см на 0,09–0,13 смоль(экв)/кг по сравнению с неплантажированными почвами и было максимальным. Особенно высокими их значения были в слое 50–150 см, и нередко достигали величин 0,37–0,62 смоль(экв)/кг.

Лугово-каштановые (агрокаштановые квазиглееватые) глубокосолончаковатые почвы на лёссовидных глинах и суглинках распространены в Присивашье Крыма. Указанные почвы находятся в зоне каштановых почв, но в результате общего подтопления имели признаки лугового процесса. Сода в почвах отсутствовала (таблица 4.2). Гидрокарбонаты натрия и магния в слое 0–50 см также не встречались, в слое 50–100 см их содержание было незначительным. В слое 100–150 см среднее содержание этих солей составило 0,26 смоль(экв)/кг, редко достигая величины 0,50 смоль(экв)/кг. Вероятность встречаемости этих солей составляла 67%. В связи с этим данные почвы являются в целом благоприятными для размещения на них плодовых культур в Присивашье.

Проведение плантажной вспашки на лугово-каштановых (агрокаштановых квазиглееватых) остаточносолонцеватых глубокосолончаковатых почвах не привело к образованию Na_2CO_3, но способствовало появлению гидрокарбонатов натрия и магния в слое 0–50 см и увеличению их содержания в нижележащих слоях до 0,24–0,31 смоль(экв)/кг по сравнению с неплантажированной почвой. Максимальные величины концентраций этих солей достигали 0,41–0,74 смоль(экв)/кг. Увеличивалась также вероятность их встречаемости в почве в 2–3 раза по сравнению с неплантажированными и достигала 83–100% в слое 50–150 см. Это свидетельствует о резком снижении садопригодности этих почв при плантажировании. В связи со значительным ощелачиванием этих и черноземно-луговых (агрогумусово-квазиглеевых) почв при плантажировании, встает вопрос о целесообразности применения этого агроприема на таких почвах перед закладкой садов.

Каштаново-луговые (агрогумусово-квазиглеевые слабосолонцеватые глубокосолончаковатые почвы на лёссовидных отложениях по уровню

ощелачивания близки к лугово-каштановым плантажированным почвам. Сода в этих почвах также отсутствовала, а содержание гидрокарбонатов натрия и магния в среднем составляло 0,08–0,29 смоль(экв)/кг и варьировало от 0,05 до 0,60 смоль(экв)/кг. Вероятность встречаемости этих солей была высокой только в слое 50–100 см (таблица 4.2).

Для того, чтобы оценить степень пригодности почв, подверженных ощелачиванию в степном Крыму, под плодовые культуры для более рационального их размещения мы воспользовались ранее разработанными нами допустимыми величинами гидрокарбонатов натрия и магния в почвах степного Крыма, подверженных ощелачиванию [Клименко, Иванов, 1996; Клименко, Клименко, 2006], таблица 4.3.

Таблица 4.3 – Допустимые значения гидрокарбонатов натрия и магния (смоль(экв)/кг) для плодовых культур в почвах степного Крыма

Порода	Подвой	Гидрокарбонаты натрия и магния в слое, см		
		0–50	50–100	100–150
P. persica	*P. persica*	0,10	0,25	0,25
	P. dulcis	0,15	0,15	0,20
C. avium	*C. avium*	0,15	0,20	0,20
	C. mahaleb	0,20	0,30	0,30
M. domestica	‘Сары синап’	0,10	0,20	0,25
	М. 6, М. 9	0,20	0,30	0,30
P. cerasifera	*P. cerasifera*	0,20	0,35	0,45

Согласно данным таблицы 4.3 допустимые концентрации этих солей для плодовых растений невелики по сравнению, например, с зерновыми [Базилевич, Панкова, 1970], зависят от сорта привоя и подвоя, а также глубины обнаружения данных солей при условии, что эти почвы в корнеобитаемом слое не засолены нейтральными токсичными солями. Наиболее чувствительными к этим солям в почве оказались растения *P. persica*, причем для сорто-подвойной комбинации *P. persica* на *P. persica* установлены более высокие критические уровни этих солей в слое 50–150 см, чем для сочетания *P. persica* на *P. dulcis*. Для *C. avium* и *M. domestica* допустимые уровни гидрокарбонатов натрия и магния были близкими.

Растения *C. avium* были более устойчивы к этим солям, если были привиты на *C. mahaleb*, а *M. domestica* – на подвоях М. 6 и М. 9. Сочетания *P. cerasifera* на *P. cerasifera* наиболее толерантны к щелочным солям из приведенного ряда плодовых растений. С глубиной уровень переносимости щелочных солей в почве для всех сортов и их сочетаний повышался.

Оценка почв, входящих в наше исследование, по разработанным для плодовых растений допустимым значениям суммы гидрокарбонатов натрия и магния показала, что наиболее благоприятными в степном Крыму для размещения монокультурных садовых агроценозов *M. domestica*, *P. persica* и *C. avium* являются лугово-черноземные (агрочерноземы квазиглееватые) карбонатные, лугово-каштановые (агрокаштановые квазиглееватые) глубокосолончаковатые и каштаново-луговые (агрогумусово-квазиглеевые) глубокосолончаковатые почвы на лёссовидных породах, где доля пригодных почв составляла 56–80 % от обследованной площади (таблица 4.4). При этом площадь почв, где присутствовала сода или содержание гидрокарбонатов натрия и магния было выше допустимого, не превышала 30%. Однако, эти почвы занимали всего 7% от общей площади обследованных участков. Следует отметить, что все эти почвы не были плантажированы. Проведение плантажной вспашки приводило к образованию в лугово-черноземных (агрочерноземах квазиглееватых) почвах соды и увеличению содержания гидрокарбонатов натрия и магния до 0,57–0,74 смоль(экв)/кг, а нередко и частоты их встречаемости во всех этих почвах. При этом доля непригодных почв возрастала более чем в два раза и составляла 43–75% площади. Кроме того, в этих почвах снижалось содержание карбонатов в слое 50–150 см, в черноземно-луговых (агрогумусово-квазиглеевых) и лугово-каштановых (агрокаштановых квазиглееватых) почвах существенное. Поэтому при закладке садов следует это учитывать и, либо избегать плантажирования, либо вносить под плантажную вспашку кальцийсодержащие или кислотообразующие мелиоранты (гипс, фосфогипс, железный купорос и др.).

Таблица 4.4 – Частота проявления ощелачивания орошаемых почв степного Крыма в связи с их пригодностью под закладку садов яблони, персика и черешни, 1997–2013 гг.

Почва	Площадь, га	Частота встречаемости (%) разрезов с разной оценкой пригодности для плодовых растений		
		пригодные	ограниченно пригодные	непригодные
Черноземы южные (агрочерноземы сегрегационные) на лёссовидных отложениях	355	18	13	69
Те же плантажированные (турбированные)	636	27	14	61
Черноземы южные (агрочерноземы сегрегационные) слабосолонцеватые на лёссовидных отложениях	322	23	3	74
Черноземы южные мицелярно-карбонатные (агрочерноземы миграционно-сегрегационные) на лёссовидных отложениях	637	54	0	46
Лугово-черноземные карбонатные плантажированные (агрочерноземы сегрегационные карбонатные квазиглеватые турбированные) на древнем глинистом аллювии	436	35	40	25
Лугово-черноземные карбонатные глубокосолончаковатые на лёссовидных отложениях (агрочерноземы сегрегационные карбонатные квазиглеватые)	56	58	17	25
Те же плантажированные (турбированные)	137	36	4	60
Черноземно-луговые (агрогумусово-квазиглеевые) слабосолонцеватые почвы на лёссовидных отложениях	11	25	37	38
Те же плантажированные (турбированные)	35	0	25	75
Лугово-каштановые глубокосолончаковатые (агрокаштановые квазиглееватые) на лёссовидных отложениях	30	80	0	20
Те же остаточносолонцеватые плантажированные (турбированные)	60	27	30	43
Каштаново-луговые слабосолонцеватые глубокосолончаковатые (агрогумусово-квазиглеевые слабосолонцеватые глубокосолончаковатые почвы) на лёссовидных отложениях	102	56	32	12
Примечание – Оценка пригодности почв для плодовых культур: пригодные – токсическая щелочность (HCO_3^- токс.) < 0,1 смоль(экв)/кг; ограниченно пригодные – HCO_3^- токс. – 0,1÷0,3 смоль(экв)/кг; непригодные – HCO_3 токс > 0,3 смоль(экв)/кг и наличие CO_3^{2-} в водной вытяжке.				

На черноземах южных (агрочерноземах сегрегационных) карбонатных и тех же слабосолонцеватых почвах доля непригодных и ограниченно пригодных почв также была велика (69–74%). Это связано с присутствием соды, повышением на

отдельных участках содержания гидрокарбонатов натрия и магния до 0,43–0,55 смоль(экв)/кг, а также с высокой частотой встречаемости щелочных солей.

Черноземы южные мицелярно-карбонатные (агрочерноземы миграционно-сегрегационные), а также лугово-черноземные плантажированные (агрочерноземы квазиглееватые турбированные) почвы на древнем глинистом аллювии и черноземно-луговые (агрогумусово-квазиглеевые) слабосолонцеватые почвы занимали промежуточное положение по степени ощелачивания между вышеприведенными почвами. Доля непригодных почв для размещения плодовых культур составляла 25–46 %, причем у первых было больше пригодных, а у вторых – ограниченно пригодных почв за счет повышенного содержания гидрокарбонатов натрия и магния.

Следует отметить, что такие устойчивые к щелочным солям плодовые породы как *P. domestica*, *P. armeniaca* и *Pyrus communis* L., которые могут выдерживать до 0,4–0,6 смоль(экв)/кг гидрокарбонатов натрия и магния и были изучены в условиях повышенного содержания нейтральных токсичных солей, могут быть размещены на большинстве из перечисленных почв без снижения продуктивности [Иванов и др., 1998]. И только в Присивашье на лугово-каштановых плантажированных (агрокаштановых квазиглееватых) и каштаново-луговых (агрогумусово-квазиглеевых) почвах, где в единичных разрезах концентрация $Mg(HCO_3)_2 + NaHCO_3$ превышает 0,6–0,7 смоль(экв)/кг, произойдет снижение их продуктивности в пределах 30% по сравнению с оптимальными условиями.

4.2. Воздействие ощелачивания на свойства эдафотопа

Увеличение содержания щелочных солей и повышение величины pH в эдафотопе может не только прямо токсично воздействовать на растения, приводя к нарушениям роста, развития, процессов обмена, но и воздействовать на другие свойства почвы: химические, физические, физико-химические и др. Это, в свою

очередь, может оказать опосредованное отрицательное влияние на автотрофы садового агроценоза.

4.2.1. Изменение содержания солей кальция и величины pH почвы при ощелачивании

Карбонатность – важный генетический признак почвы, определяющий многие ее физические, физико-химические и агрохимические свойства. При интенсивном и длительном орошении хорошо дренированных почв происходит выщелачивание солей из почвенного профиля, содержание карбонатов кальция при этом также уменьшается [Барановская, 1990; Клименко, 1988, 1991]. В почвенном растворе остается столь мало Са, что плодовые растения испытывают недостаток в этом элементе [Клименко, 1991, 1993].

Обобщение данных содержания карбонатов кальция в орошаемых почвах зоны Южной степи Крыма показало, что в черноземах южных (агрочерноземах сегрегационных) в слое 0–50 см их среднее содержание было невысоким и колебалось от 0,9 до 7,6% (таблица 4.5). В карбонатно-иллювиальном горизонте оно было максимальным, а в слое 100–150 см несколько снижалось. При плантажировании этих почв содержание карбонатов существенно увеличивалось только в слое 0–50 см, на глубине 50–100 см не изменялось. При этом существенно возрастала средняя величина $pH_{водн.}$ во всей полутораметровой толще почвы за счет увеличения содержания гидрокарбонатов натрия и магния, а максимальные значения $pH_{водн.}$ достигали 8,80–8,84 (таблица 4.5).

В черноземах южных (агрочерноземах сегрегационных) слабосолонцеватых карбонаты были выщелочены почти из всей первой полуметровой толщи, ниже по профилю их содержание колебалось в пределах 13,7–14,8% и было ниже, чем в черноземах южных. Более низкое содержание карбонатов и солонцеватость почвы определили большую степень ощелачивания этих почв и существенное увеличение pH по сравнению с обычными черноземами южными.

Таблица 4.5 – Содержание общих карбонатов и величина $pH_{водн.}$ в орошаемых почвах степного Крыма, 1997–2013 гг., n = 5–91

Почва	Общие карбонаты, %			$pH_{водн.}$		
	в слое, см					
	0–50	50–100	100–150	0–50	50–100	100–150
Черноземы южные (агрочерноземы сегрегационные)	0,9-7,6* 3,4±0,5	12,8-20,5 16,1±0,5	7,6-20,1 15,6±0,7	7,60-8,40 8,09±0,07	7,60-8,50 8,22±0,06	8,00-8,60 8,34±0,04
Те же плантажированные (турбированные)	0-12,4 5,0±0,4**	1,7-26,0 16,2±0,5	12,3-25,6 18,2±0,4**	7,90-8,75 8,34±0,07**	8,25-8,80 8,56±0,10**	8,05-8,84 8,55±0,08**
Черноземы южные слабосолонцеватые (агрочерноземы сегрегациионные слабосолонцеватые)	0,2-3,5 1,3±0,3**	5,8-18,5 14,7±0,8	12,8-19,1 15,7±0,1	7,85-8,75 8,33±0,29	8,54-8,75 8,68±0,06**	8,63-8,87 8,76±0,06**
Лугово-черноземные карбонатные плантажированные (агрочерноземы сегрегационные карбонатные квазигле-еватые турбированные) на древнем глинистом аллювии	1,0-18,5 8,1±0,9	2,2-25,0 13,6±0,7	9,6-24,5 15,4±0,6	8,14-8,65 8,44±0,02	8,25-8,74 8,49±0,03	8,05-8,75 8,50±0,03
Лугово-черноземные карбонатные (агрочерноземы сегрегационные карбонатные квазиглеватые) глубокосолончаковатые на лёссовидных отложениях	1,4-7,9 3,5±0,6	9,9-18,4 15,7±0,7	14,4-19,2 16,3±0,5	8,04-8,25 8,16±0,05	7,68-8,38 8,12±0,15	нет данных
Те же плантажированные (турбированные)	0,4-12,0 5,5±0,5**	7,3-19,8 13,3±1,1	10,3-20,6 15,7±0,6	8,10-8,70 8,41±0,14	8,10-8,70 8,48±0,15	8,40-8,72 8,53±0,07
Черноземно-луговые (агрогумусово-квазиглеевые) слабосолонцеватые почвы на лёссовидных отложениях	1,8-6,4 3,0±0,5	9,3-18,5 14,2±1,3	10,6-16,3 14,6±0,7	нет данных	нет данных	нет данных
Те же плантажированные (турбированные)	0,4-0,9 0,7±0,2**	3,9-6,9 5,0±0,9**	8,6-9,5 9,2±0,3**	8,10-8,20 8,15±0,03	8,10-8,30 8,20±0,03	8,40 8,40±0
Лугово-каштановые (агрокаштановые квазиглееватые) глубокосолончаковатые на лёссовидных отложениях	0-0,9 0,6±0,3	13,8-16,0 15,1±0,8	11,9-14,9 13,2±0,9	нет данных	нет данных	нет данных
Те же плантажированные (турбированные)	нет	5,6-13,8 10,8±0,9**	5,6-12,1 10,3±0,5**	7,62-8,28 7,86±0,08	8,20-8,50 8,33±0,04	8,29-8,72 8,44±0,10
Каштаново-луговые (агрогумусово-квазиглеевые) слабосолонцеватые глубокосолончаковатые на лёссовидных отложениях	0,1-0,4 0,2±0,1	6,2-17,7 13,2±1,6	11,0-14,2 12,6±0,5	нет данных	нет данных	нет данных

* Над чертой – min – max, под чертой – среднее арифметическое ± стандартная ошибка, ** разница с соответствующими неплантажированными почвами существенна, $p \leq 0,05$.

В лугово-черноземных (агрочерноземах сегрегационных глееватых) и особенно в черноземно-луговых (агрогумусово-квазиглеевых) хорошо дренированных почвах, где содержание карбонатов кальция было ниже, чем в черноземах южных (агрочерноземах сегрегационных), при плантажировании и длительном орошении почв произошло значительное (для последних почв достоверное) сокращение содержания общих карбонатов. Это связано с их растворением и активным выносом из почвы в результате увеличения водопроницаемости плантажированных почв. Это способствовало усилению процесса ощелачивания и увеличению величины pH почв. Кроме того, в почвах, подверженных ощелачиванию, присутствие соды и повышенное содержание других щелочных солей может способствовать снижению растворимости кальцита с потерей им своего мелиоративного эффекта [Минашина, Кочеткова, 1983; Окультуривание солонцовых…, 1984].

В лугово-каштановых плантажированных (агрокаштановых квазиглееватых турбированных) почвах усиление ощелачивания связано также со значительным выносом карбонатов из полутораметровой толщи. Это обусловлено хорошей работой дренажной системы и интенсивными поливами пресными водами, эпизодически содержащими соду и гидрокарбонаты натрия и магния.

Таким образом, длительное орошение почв степной зоны, а нередко и проведение плантажной вспашки привело к снижению содержанию общих карбонатов в слое 50–150 см, что способствовало усилению ощелачивания почв.

Это подтверждается данными проведенного корреляционный анализа, который показал обратную сильную зависимость между концентрацией гидрокарбонатов натрия и магния в водной вытяжке и содержанием общих карбонатов в слое 50–150 см. (рисунок 4.1). Анализ полученного уравнения регресии показывает, что в эдафотопе, где концентрация гидрокарбонатов натрия и магния не превышала бы 0,1–0,2 смоль(экв)/кг, что нетоксично для большинства плодовых культур, содержание карбонатов кальция должно находиться на уровне 16–21% в слое 50–150 см. Если содержание общих карбонатов уменьшается до

10%, токсичная щелочность может повышаться до 0,33 смоль(экв)/кг, что будет токсичным для чувствительных к ощелачиванию плодовых культур.

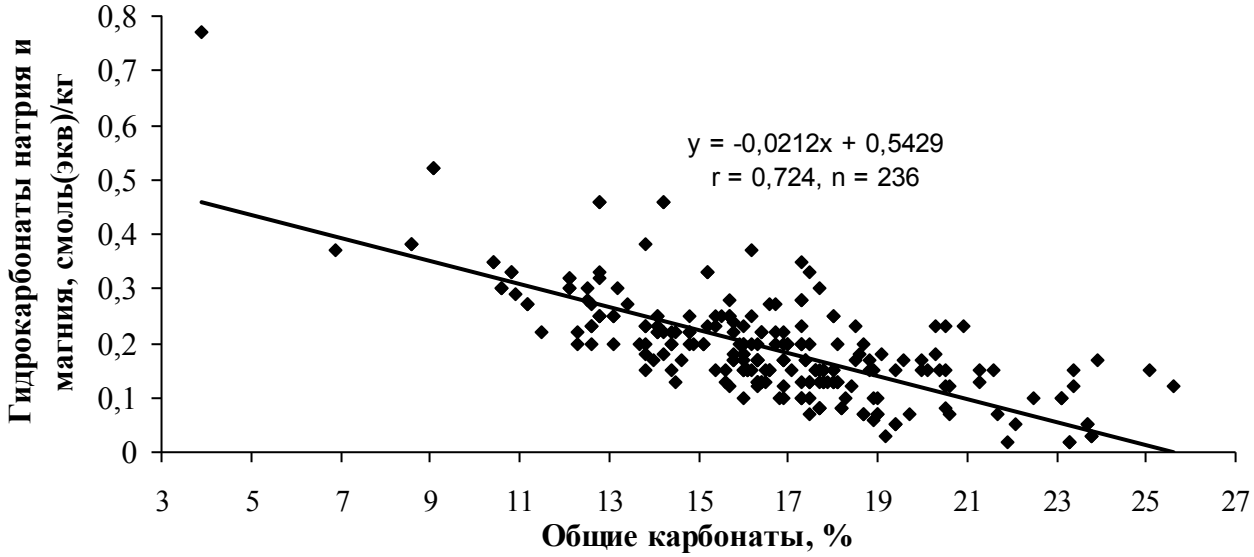

Рисунок 4.1. Зависимость концентрации гидрокарбонатов натрия и магния (у) от содержания общих карбонатов (х) в почвах степного Крыма (слой 50–150 см)

В связи с этим для улучшения почв, подверженных ощелачиванию, встает задача не только нейтрализации щелочных солей, но и пополнения запасов карбонатов кальция путем внесения мелиорантов.

В условиях полевого эксперимента на примере темно-каштановой слабосолонцеватой (агрокаштановой сегрегационной слабосолонцеватой) почвы было более подробно изучено влияние процессов ощелачивания и состава щелочных солей на содержание общих карбонатов и водорастворимого кальция; установление количественных связей между ними с целью прогноза изменения содержания подвижного кальция при ощелачивании [Клименко, 1991]. Полученные данные показывают, что поливная вода в момент обследования характеризовалась небольшой минерализацией (0,643 г/л), присутствием иона CO_3^{2-} (0,8 смоль(экв)/л) и преобладанием гидрокарбонатов (6,2 смоль(экв)/л), а также присутствием гидрокарбонатов натрия и магния, которые являются одной из причин ощелачивания орошаемых почв (таблица А. 3).

Нашими исследованиями установлено, что при длительном орошении такой водой содержание карбоната кальция в слое почвы 40–100 см достоверно снизилось по сравнению с неорошаемой почвой, причем в слое 40–60 см – более чем втрое (рисунок 4.2).

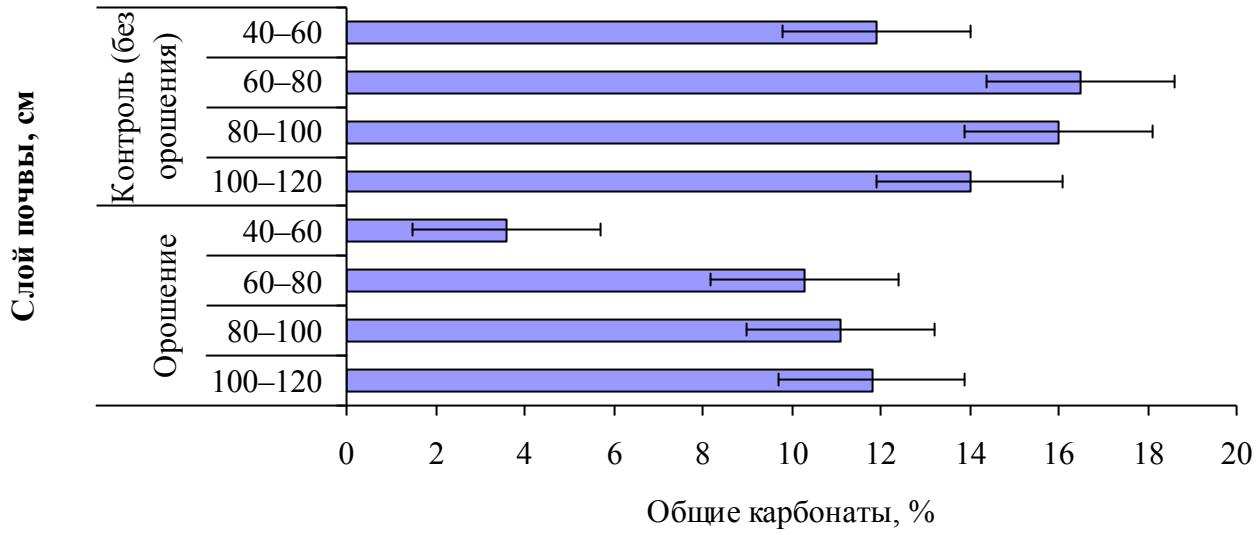

Рисунок 4.2. Изменение содержания общих карбонатов при длительном орошении темно-каштановой слабосолонцеватой (агрокаштановой сегрегационной слабосолонцеватой) почвы

Длительное орошение значительно изменяло концентрацию и состав щелочных солей в почве. В контрольном варианте гидрокарбонат магния встречался в 2% случаев, и его среднее значение не превышало 0,02 смоль(экв)/кг. Гидрокарбонат натрия в почве отсутствовал (таблица 4.6). При орошении вероятность образования $Mg(HCO_3)_2$ возросла до 100%, произошло его накопление до 0,09–0,17 смоль(экв)/кг. Гидрокарбонат натрия при орошении обнаружен не во всех разрезах. Вероятность его появления составляла 20–60% и возрастала с глубиной; абсолютные значения составили в среднем 0,06–0,32 смоль(экв)/кг почвы, однако, в отдельных случаях его концентрация достигала 0,68 смоль(экв)/кг.

Таблица 4.6 – Влияние гидрокарбонатов натрия и магния на содержание иона Ca^{2+} в водной вытяжке темно-каштановой (агрокаштановой сегрегационной) слабосолонцеватой почвы (смоль(экв)/кг)

Вариант	$NaHCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	Ca^{2+}
Контроль (n = 16)	нет	0,02	0,75* 0,67 ÷ 0,83**
Орошение (n = 16)	нет	0,13 0,09 ÷ 0,17	0,52 0,48 ÷ 0,56
Орошение (n = 13)	0,19 0,06 ÷ 0,32	0,14 0,10 ÷ 0,18	0,40 0,34 ÷ 0,46
* Среднее; ** доверительный интервал, $p \leq 0,05$.			

Эти изменения в составе щелочных солей способствовали росту общей щелочности и величины pH. Установлено, что в контрольном варианте (богара) эти показатели щелочности определялись содержанием карбоната кальция (коэффициент корреляции между $CaCO_3$ и HCO_3^-, а также величиной pH равны соответственно 0,56 ± 0,17 и 0,62 ± 0,15 при n = 18). При орошении, когда в эдафотопе присутствовали гидрокарбонаты магния и особенно натрия, именно они определяли увеличение основных показателей щелочности. При этом pH в отдельных случаях возрастала до 9,0, а общая щелочность – до 1,0 смоль(экв)/кг.

Чтобы проследить влияние гидрокарбонатов натрия и магния на подвижность кальция в почве, данные были сгруппированы по наличию этих солей (таблица 4.6). При орошении с появлением в почве $Mg(HCO_3)_2$ содержание водорастворимого Ca^{2+} достоверно снижалось. Причем с ростом концентрации этой соли в пределах группы содержание кальция сокращалось (r = –0,57 ± 0,15). Наиболее сильное влияние на количество иона Ca^{2+} в водной вытяжке орошаемых почв оказало появление и увеличение концентрации $NaHCO_3$. Содержание иона Ca^{2+} при ее появлении в почвенном растворе уменьшилась почти вдвое по сравнению с контролем. Отмечена сильная обратная связь между содержанием водорастворимого Ca^{2+} и $NaHCO_3$ в водной вытяжке (r = –0,88 ± 0,06). Данная зависимость описывается уравнением прямолинейной регрессии (12):

$$Y = 0{,}48 - 0{,}38\,x, \qquad (12)$$

где Y – содержание иона Ca^{2+}, x – концентрация $NaHCO_3$, смоль(экв)/кг.

Пользуясь уравнением (12), можно определить содержание водорастворимого кальция в почве, зная пределы ощелачивания ее солью $NaHCO_3$, а также прогнозировать ощелачивание, зная реальное содержание иона Ca^{2+} в водной вытяжке. Так, согласно уравнению (12), если гидрокарбонат натрия в почве отсутствует, то содержание водорастворимого кальция в темно-каштановой почве будет равно 0,48 смоль(экв)/кг и выше. При содержании этой соли 0,68 смоль(экв)/кг, как выявлено в некоторых разрезах, количество Ca^{2+} снизится до 0,22 смоль(экв)/кг. Кроме того, если определенное в водной вытяжке количество иона Ca^{2+} будет ниже 0,48 смоль(экв)/кг, то в почве присутствует токсичная для растений щелочная соль – гидрокарбонат натрия и необходимы меры по ее нейтрализации и пополнению запасов кальция.

4.2.2. Влияние ощелачивания на подвижность элементов питания в почве

Почвы сухой степи Украины и Крыма являются слабо- и среднеобеспеченными подвижными формами N и P, уровень обеспеченности обменным K повышенный и высокий [Половицкий, Гусев, 1987]. При увеличении солонцеватости темно-каштановых (агрокаштановых сегрегационных) почв и в солонцах содержание подвижных форм N и P снижается, плодородие их падает [Почвы Украины…, 1988]. Известно, что в щелочной среде такие элементы как P, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu и Zn переходят в труднодоступную для растений форму [Чепмен, 1964; Bower, Turk, 1964]. Подвижность бора при pH от 6,0 до 8,8 снижается, а при pH более 8,8 увеличивается [Finck, 1967]. В связи с этим, недостаточное повышение продуктивности садовых агроценозов при орошении на солонцеватых почвах Крыма по сравнению с ожидаемым может быть связано, помимо других факторов, со снижением растворимости и доступности элементов

питания при ощелачивании почв и нарушением минерального питания плодовых культур.

Проведенные нами модельные эксперименты по влиянию содового засоления почвы на подвижность элементов питания в эдафотопе показывают, что через 1–2 месяца после внесения соды анализ водной вытяжки из почвы на вариантах с внесением 0,3 и 0,5 смоль(экв)/кг показал ее отсутствие. Объясняется это содоустойчивостью почвы, т.е. способностью нейтрализовать соду другими солями, содержащимися в почвенном растворе и обменом ионов натрия соды на поглощенный кальций почвы с последующим осолонцеванием. С повышением дозы внесенной соды почти пропорционально возрастала величина pH и содержание обменного натрия pH (r = 0,999, n = 20), рисунок 4.3 [Клименко и др., 2007].

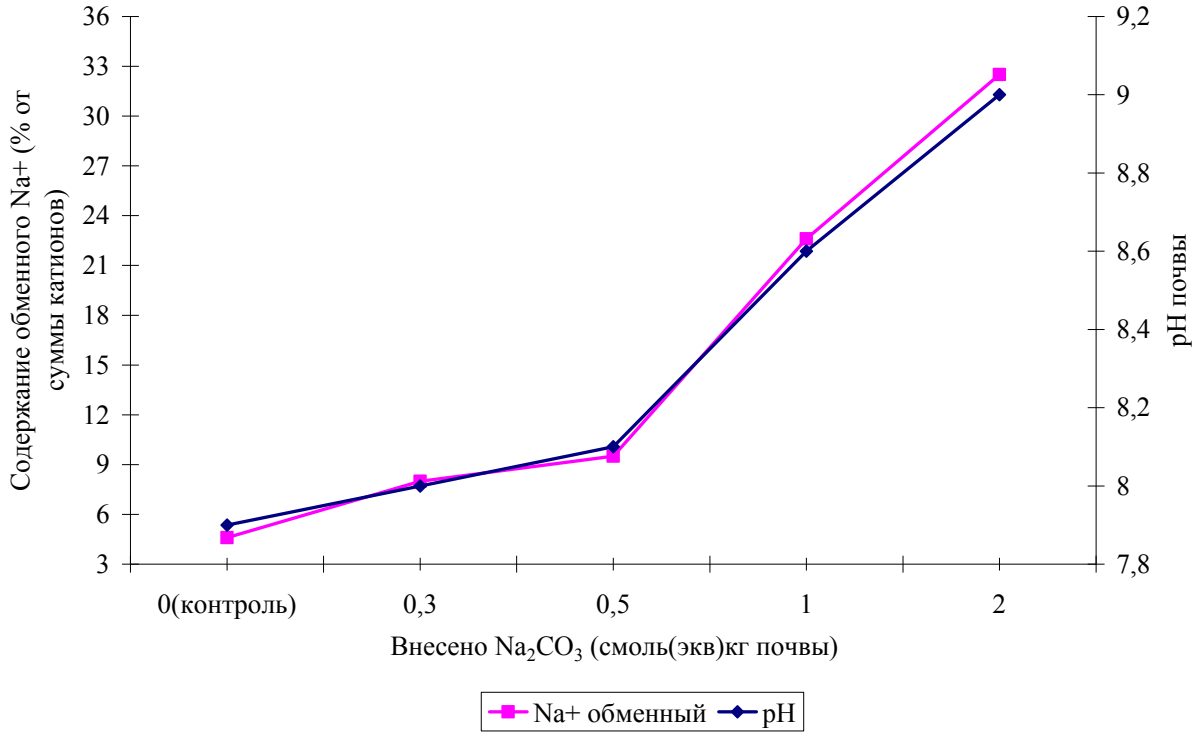

Рисунок 4.3. Изменение содержания обменного Na^+ и величины $pH_{водн.}$ в почве при внесении различных доз Na_2CO_3

Происходило это вследствие гидролиза соды с образованием щелочи (NaOH), увеличивалось содержание обменного натрия. Этот комплекс неблагоприятных явлений в почве при содовом засолении (повышение величины

pH, увеличение доли обменного Na^+ в ППК и соды в растворе), нередко встречается в почвах степной зоны.

Поэтому нами рассмотрено влияние концентраций соды 0,04 и 0,08 смоль(экв)/кг, а также повышения величины pH с 8,0 до 9,0 и осолонцевания почвы в пределах 8–32% от суммы обменных катионов на подвижность биогенных элементов. В связи с тем, что влияние pH и обменного натрия, обусловливающих щелочность почв, на подвижность элементов питания в почве было однозначным, в дальнейшем приводим данные по влиянию на них величины pH.

Установлено, что при незначительном увеличении щелочности ($pH_{водн.}$ 8,0–8,1) содержание **$N\text{-}NO_3$** в почве было близко к контролю ($pH_{водн.}$ 7,9) или превышало его (рисунок 4.4).

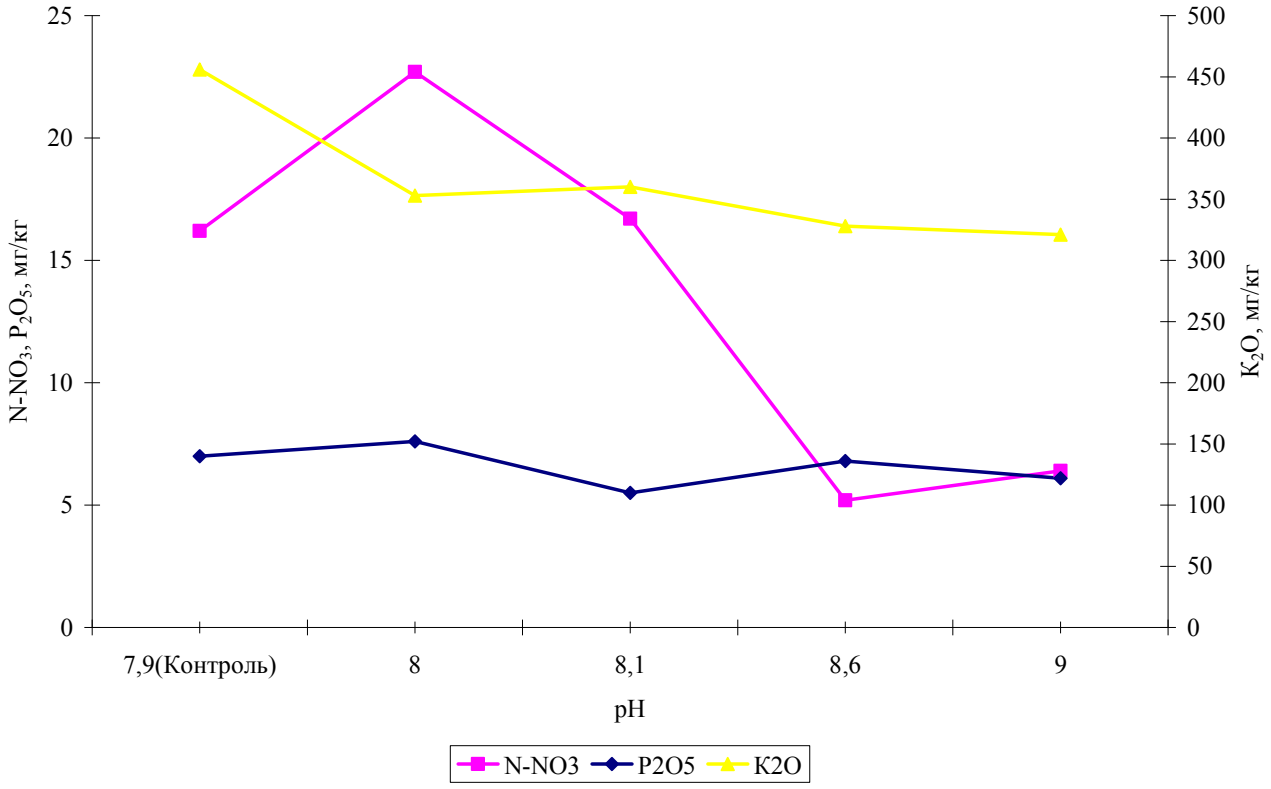

Рисунок 4.4. Изменение концентрации подвижных форм $N\text{-}NO_3$, P_2O_5 и K_2O в почве при ощелачивании (по данным лабораторного опыта)

При появлении соды и величине $pH_{водн.}$ 8,6 и более, содержание нитратного азота уменьшилось в три раза по сравнению с контролем. Обеспеченность этим элементом стала недостаточной [Рекомендации по применению …, 1983].

Концентрация подвижной $\mathbf{P_2O_5}$ в почве не имела тесной зависимости от величины pH (r = 0,35, n = 20), но значительно снизилась при $pH_{водн.}$ 8,1, что может быть следствием косвенного влияния щелочности на уменьшение подвижности катионов, с которыми связан анион фосфорной кислоты.

Несколько по-иному процесс осолонцевания и появления соды влиял на содержание **обменного $\mathbf{K_2O}$**. Уже при $pH_{водн.}$ 8,0 его концентрация резко снизилась (рисунок 4.3). Дальнейшее увеличение pH и появление соды снижало содержание обменного K_2O в почве, но его количество оставалась на уровне среднего содержания.

При величине $pH_{водн.}$ 8,0 и 8,1 и 8,6–9,5% обменного Na^+ от суммы поглощенных оснований, содержание обменного K^+ в ППК возросло с 1,42 до 2,01% от суммы обменных катионов. При появлении соды в растворе его концентрация вновь снизилась до исходной. Это, возможно, связано с конкуренцией между ионами K^+ и Na^+ за место в ППК при разном уровне иона Na^+ в почвенном растворе.

Содержание ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в водной вытяжке при минимальной щелочности ($pH_{водн.}$ 8,0–8,1) увеличивалось (рисунок 4.5). Это связано с выходом большого количества обменного Ca^{2+} из ППК в обмен на Na^+ внесенной соды. С появлением в растворе соды и увеличением $pH_{водн.}$ до 8,6 и выше концентрация ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} сократилась до 0,30–0,42 смоль(экв)/кг или в 2–6 раз по сравнению с контролем. Обнаружена сильная обратная корреляционная связь между величиной pH и содержанием ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в водной вытяжке (r = –0,87 ± 0,12 и –0,88±0,11 соответственно, n = 20) и прямая сильная связь с содержанием нитратного азота в почве (r = 0,94±0,06 и 0,97±0,03, n = 20). Это может свидетельствовать о значительном снижении подвижности нитратов Ca и Mg в сильнощелочной среде.

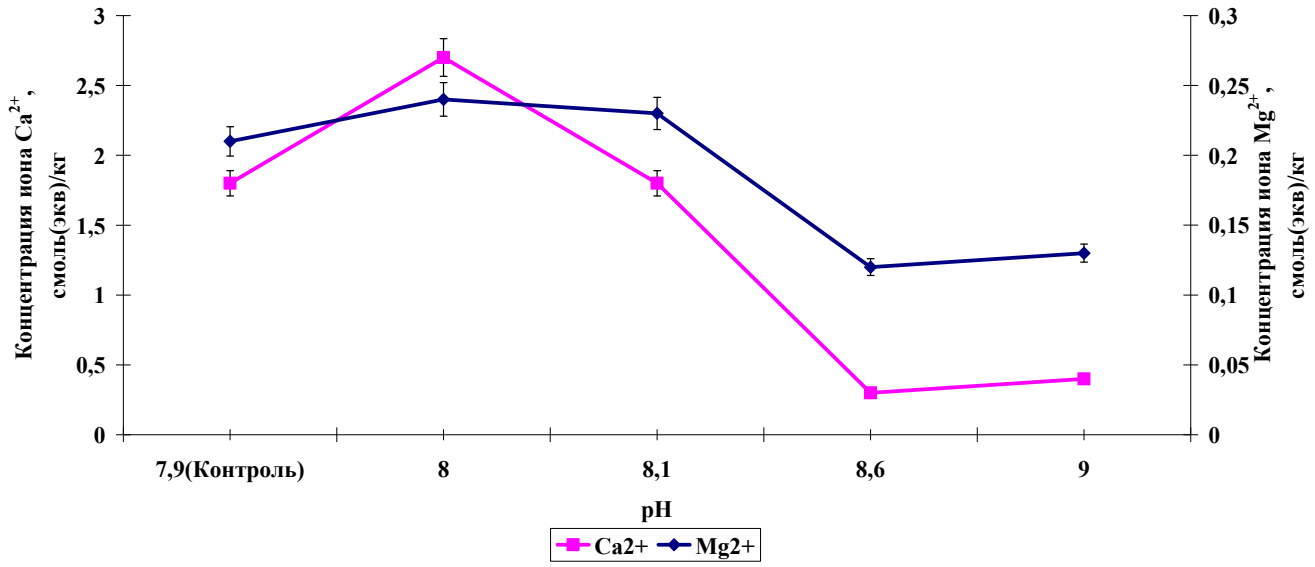

Рисунок 4.5. Зависимость концентрации ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в водной вытяжке от величины pH почвы при ощелачивании (по данным лабораторного опыта)

Железо, марганец и бор. Содержание подвижного Fe в почве контроля было невысоким, так как в слабощелочной среде темно-каштановой (агрокаштановой сегрегационной) слабосолонцеватой почвы железо находилось в окисленной форме и было труднорастворимо [Виноградов, 1957]. При увеличении щелочности в почве его концентрация не претерпела значительных изменений (рисунок 4.6). Появление в почве соды и увеличение ее концентрации несколько снизило содержание Fe, однако оно не опускалось ниже оптимального.

Растворимость **подвижного Mn** в почве резко снизилась уже при $pH_{водн.}$ 8,0 и стала почти в 2,5 раза ниже контрольной (рисунок 4.6). В вариантах с присутствием соды и при pH 8,6–9,0 она становилась минимальной и опускалась за нижний предел оптимального содержания [Bergmann, 1979]. Возможно, это связано с действием одноименного иона на растворимость труднорастворимого $MnCO_3$ [Воробьева, Рудакова, 1981]. Несмотря на повышенное содержание подвижного B темно-каштановой (агрокаштановой сегрегационной) слабосолонцеватой почве, появление соды и увеличение $pH_{водн.}$ до 9 привели к почти двукратному росту его концентрации (рисунок 4.6). Установлена прямая

тесная достоверная корреляционная зависимость между его содержанием в почве и величиной pH (r = 0,79±0,19 при n = 12).

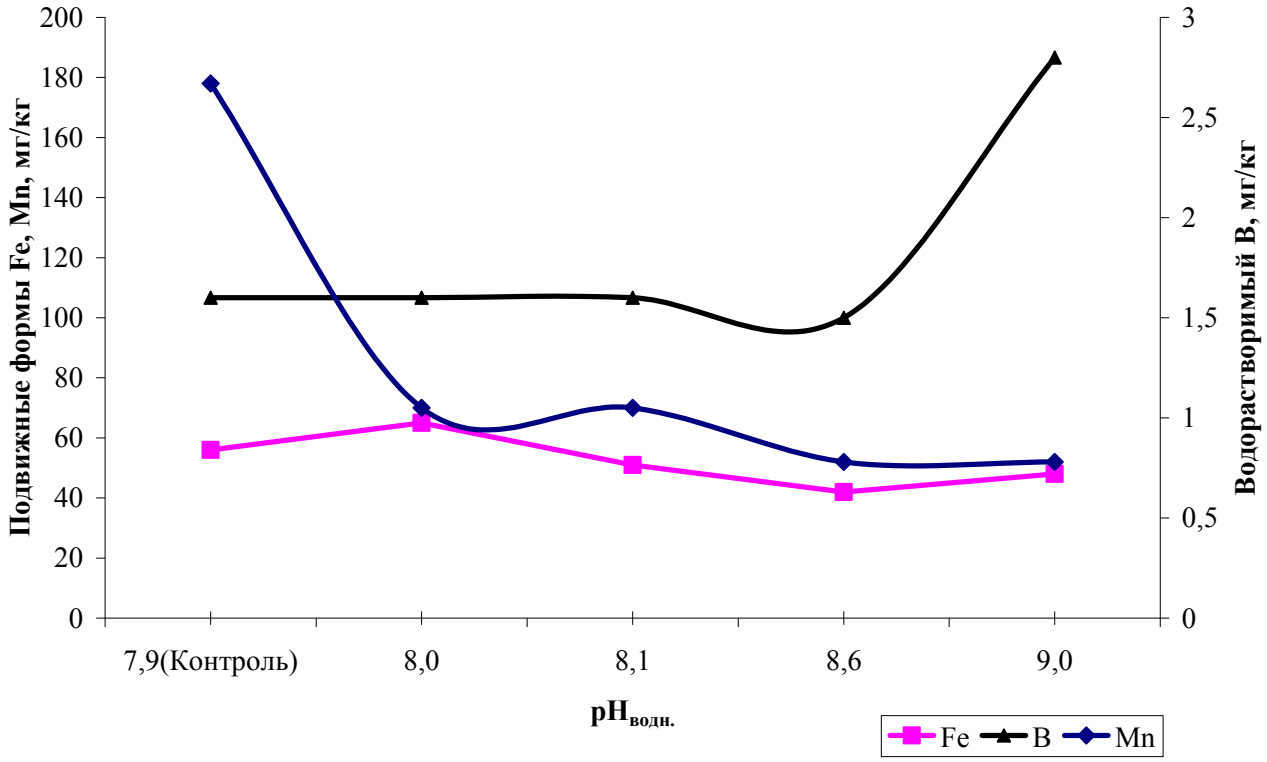

Рисунок 4.6. Концентрация подвижных форм Fe, Mn и B в почве при изменении величины $pH_{водн.}$ (по данным лабораторного опыта)

Таким образом, при длительном орошении водой СКК темно-каштановой (агрокаштановой сегрегационной) слабосолонцеватой почвы произошло значительное снижение содержания общих карбонатов и водорастворимого кальция. Это связано с появлением и накоплением в почве гидрокарбонатов магния и особенно натрия, которые резко снижали растворимость солей кальция. Источником накопления щелочных солей в почве может быть поливная вода, содержащая эти соли, а также обменные процессы в солонцеватой почве. Установлена обратная сильная достоверная корреляционная зависимость между содержанием водорастворимого кальция и концентрацией гидрокарбоната натрия в почве. Построенная модель зависимости этих показателей позволяет

прогнозировать снижение содержание подвижного кальция в почве при появлении и накоплении в почве этой очень токсичной щелочной соли.

При появлении соды в растворе, увеличении его $pH_{водн.}$ до 8,6–9,0 и содержания обменного Na до 22,6–33,5% от суммы обменных катионов подвижность биогенных микроэлементов-металлов снизилась, а при величине, токсичной для плодовых растений, резко повысилась подвижность B. Помимо этого, уменьшалось содержание $N\text{-}NO_3$ и K_2O в почве. Что может привести к недостатку подвижных форм азота, кальция и марганца для плодовых растений и вызвать отравление бором.

4.3. Оценка устойчивости сортов *P. cerasifera* к щелочным солям в почвах степного Крыма

Ранее нами было подробно исследовано влияние ощелачивания почв на рост, состояние и плодоношение сортов *M. domestica*, *P. persica* и *C. avium* в садовых агроценозах степного Крыма [Клименко, 1988; Клименко, Клименко, 1989]. Однако в последние годы широкое распространение в Крыму и на юге Украины получила такая плодовая порода, как *Prunus cerasifera* Ehrh. [Помология, 1997; Иванов и др., 1998]. *P. cerasifera* является ценной плодовой культурой, которая характеризуется скороплодностью (достигает полного плодоношения на третий-четвертый год после посадки), ранним созреванием, высокой и регулярной урожайностью, высокими диетическими качествами плодов [Горина, 1997]. Плоды *P. cerasifera* могут потребляться в свежем и переработанном виде. Эта культура может произрастать практически на всех почвах Крыма и юга Украины. Высокопродуктивна она при орошении на южных черноземах (агрочерноземах сегрегационных) и темно-каштановых (агрокаштановых сегрегационных) слабо- и среднесолонцеватых почвах, сформировавшихся на лёссовидных глинах и тяжелых суглинках [Иванов и др., 1998]. Однако, в новой экологической обстановке при ощелачивании почв не проводилось исследований по установлению реакции и устойчивости *P. cerasifera*

к данному лимитирующему фактору. Кроме того, разные сорта и сорто-подвойные комбинации этой культуры могут по-разному реагировать на ощелачивание почвы, а этот аспект в настоящее время практически не изучен и экспериментальных количественных данных, отражающих их реакцию на негативные для растений почвенные факторы, крайне мало [Иванов и др., 1998].

В связи с этим нами были проведены комплексные исследования в системе эдафотоп – продуцент, изучена реакция различных сортов *P. cerasifera* к ощелачиванию темно-каштановой (агрокаштановой сегрегационной) слабосолонцеватой почвы, чтобы установить реально оптимальные и допустимые показатели токсичных щелочных солей для конкретных сорто-подвойных комбинаций и определить их относительную устойчивость к повышенному содержания щелочных солей в почве [Клименко, Клименко, 2006].

Результаты исследований показывают, что сода (Na_2CO_3) в почве присутствовала лишь в одном разрезе в незначительном количестве (таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Содержание иона HCO_3^-, соды и гидрокарбонатов натрия и магния в почве под деревьями *P. cerasifera* (n = 26)

Глубина, см	Na_2CO_3	HCO_3^{--}	$Mg(HCO_3)_2$	$NaHCO_3$
	смоль(экв)/кг почвы			
0–60	нет	0,47±0,02* 0,29 – 0,63	0,09±0,01 0 – 0,18	0,01±0,005 0 – 0,20
60–100	0,02**	0,69±0,02 0,46 – 0,84	0,14±0,02 0,01 – 0,41	0,05±0,008 0 – 0,19
100–120	0,04**	0,60±0,02 0,58 – 0,76	0,16±0,02 0 – 0,45	0,04±0,007 0 – 0,16

* Над чертой – среднее арифметическое; под чертой – минимум – максимум; ** сода обнаружена в одном разрезе.

Содержание общей щелочности было невысоким и в среднем колебалось от 0,47 до 0,69 смоль(экв)/кг, но в отдельных разрезах достигало 0,76–0,84 смоль(экв)/кг в слое 60–100см.

Вредные щелочные соли представлены в основном гидрокарбонатом магния, содержание которого возрастало с глубиной и в слое 100–120 см

достигало в среднем 0,16 смоль(экв)/кг, а в отдельных разрезах 0,41–0,45 смоль(экв)/кг почвы. Среднее содержание соды (Na_2CO_3) колебалось от 0,01 до 0,05 смоль(экв)/кг, а максимальная концентрация этой соли, найденная в слое 60–100 см, составила 0,20 смоль(экв)/кг. Там, где обнаружена сода или гидрокарбонаты натрия и магния в количестве 0,3 смоль(экв)/кг и выше в слое глубже 60 см, деревья находились в удовлетворительном и плохом состоянии, часть деревьев погибла.

Биометрические исследования показали, что наибольшее число деревьев в хорошем состоянии (68–75% от числа посаженных) было у сортов ‘Амазонка’, ‘Васильевская 41’ и ‘Субхи Ранняя’, наименьшее – у сортов ‘Кизилташская Ранняя’ и ‘Крымская Смуглянка’ (46–50%). В удовлетворительном состоянии находились от 13 до 54% деревьев *P. cerasifera* в зависимости от сорта, 17% растений ‘Крымская Смуглянка’ были в плохом состоянии. Большое количество погибших растений обнаружено у сортов ‘Амазонка’ и ‘Пионерка’ (таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Общее состояние деревьев и оценка устойчивости сортов *P. cerasifera*, подвой *P. cerasifera* в возрасте 9 лет к ощелачиванию почвы

Сорт	Посажено деревьев, шт	Деревьев в состоянии, %				Оценка состояния балл	Общая характеристика устойчивости
		хорошем	удовлетворительном	плохом	погибших		
‘Оленька’*	22	55	45	0	0	3,55	высокоустойчивые
‘Десертная’	24	63	33	0	4	3,54	высокоустойчивые
‘Кизилташская Ранняя‘	13	46	54	0	0	3,46	высокоустойчивые
‘Васильевская 41’	13	69	23	0	8	3,45	высокоустойчивые
‘Субхи Ранняя’	22	68	23	0	9	3,41	высокоустойчивые
‘Амазонка’	24	75	13	0	12	3,39	среднеустойчивые
‘Пионерка’	23	61	26	0	13	3,22	среднеустойчивые
‘Крымская Смуглянка’	24	50	25	17	8	3,09	среднеустойчивые
X ± S x	-	61 ± 4	30 ± 5	2	7 ± 2	3,39 ± 0,05	-
* Сорта расположены по степени повышения устойчивости.							

Согласно методике В.Ф. Ивановым [1986] по данным таксации внешнего состояния деревьев была дана общая оценка состояния растений в баллах. Из

данных таблицы 4.8 следует, что все изученные сорта *P. cerasifera*, привитые на *P. cerasifera*, оказались довольно устойчивыми к повышенной щелочности эдафотопа и близки по относительной устойчивости. Только сорт ‘Крымская Смуглянка’, у которого 25% деревьев были в плохом состоянии или погибли, оказался наименее устойчивым.

На основании общей оценки состояния деревьев каждого сорта на этой почве, все изученные сортов *P. cerasifera* разделены нами на две группы: высоко- и среднеустойчивые к повышенному содержанию токсичных щелочных солей и присутствию соды. Сорта с оценкой выше средней отнесены к высокоустойчивым, равной и ниже – к среднеустойчивым. Следует отметить, что наиболее устойчивыми по выбранным параметрам оказались гибридные сорта ‘Десертная’ и ‘Оленька’.

Корреляционный анализ данных концентрации щелочных солей в почве и окружности штамба деревьев среднеустойчивых сортов показал, что наиболее сильная достоверная отрицательная корреляционная зависимость существует между содержанием гидрокарбонатов натрия и магния в слое глубже 60 см и окружностью штамба дерева ($r = –0,75$ при $n = 26$). На основании полученных данных были рассчитаны уравнения прямолинейной регрессии и определены реально оптимальные и допустимые показатели этих солей в эдафотопе для среднеустойчивых сортов *P. cerasifera* (таблица 4.9). Из данных таблицы 4.9 следует, что для всех сортов максимальный допустимый показатель обнаружен в слое 60–100 см. Наиболее устойчивым из трех изученных оказался сорт ‘Пионерка’, для которого допустимой концентрацией гидрокарбонатов натрия и магния в слое 60–100 см является 0,30 смоль(экв)/кг. В целом *P. cerasifera* на *P. cerasifera* указанных среднеустойчивых сортов будет нормально расти и плодоносить при содержании этих солей 0,03 смоль(экв)/кг в слое 0–60 см и 0,12–0,14 смоль(экв)/кг – ниже по профилю. Она будет испытывать угнетение и терять от 20 до 30% урожая в зависимости от сорта при содержании токсичных щелочных солей 0,07 смоль(экв)/кг в слое 0–60 см, 0,29 смоль(экв)/кг в слое 60–100 см и 0,21 смоль(экв)/кг в более глубоких слоях почвы.

Таблица 4.9 – Реально оптимальные и допустимые концентрации гидрокарбонатов натрия и магния в почве (х), определенные по окружности штамба (Y) *P. cerasifera* на *P. cerasifera*

Сорт, порода	Слой почвы, см	Окружность штамба (см) в состоянии		Коэффициент корреляции	Уравнение регрессии	Показатели	
		хорошем	удовлетворительном			оптимальные	критические
‘Субхи Ранняя’, n = 9	0–60	54	47*	-0,70**	Y = 57 – 69,3x	0,04	0,14
	60–100			-0,81	Y = 61,5 – 53,4x	0,14	0,27
	100–120			-0,78	Y = 58,8 – 46,7x	0,10	0,25
‘Пионерка’ n = 9	0–60	55	48*	0,33	-	-	-
	60–100			-0,73	Y = 57,8 – 32,7x	0,09	0,30
	100–120			-0,73	Y = 63,9 – 85,6x	0,10	0,19
‘Крымская Смуглянка’ n = 8	0–60	56	38*	-0,33	-	-	-
	60–100			-0,83	Y = 89,4–168,3x	0,20	0,25
	100–120			-0,78	Y = 72,9 – 94,6x	0,18	0,26
P. cerasifera среднее по породе, n = 26	0–60	55	44*	-0,75	Y = 60 – 180x	0,03	0,07
	60–100			-0,75	Y = 62 – 48x	0,12	0,29
	100–120			-0,75	Y = 66 – 85x	0,14	0,21
* Разница с деревьями в хорошем состоянии существенна, $p \leq 0,05$; ** − уравнение регрессии рассчитано при достоверном коэффициенте корреляции, $p \leq 0,05$.							

Экологическая валентность высокоустойчивых сортов *P. cerasifera*: ‘Оленька’, ‘Амазонка’, ‘Десертная’ шире и зона пессимума сдвигается на уровень значений не выше 0,4 смоль(экв)/кг в слое 60–100 см, так как при концентрации этих солей выше 0,4 смоль(экв)/кг деревья этой культуры либо были в плохом состоянии, либо погибли.

Нужно отметить, что допустимые для *P. cerasifera* величины гидрокарбонатов натрия и магния, приведенные нами, несколько ниже полученных В.Ф. Ивановым для почв, в которых присутствовали и нейтральные соли в токсичных для плодовых культур количествах [Иванов и др., 1998]. Известно, что в присутствии других групп солей (хлоридов и сульфатов), допустимое для плодовых культур содержание щелочных солей увеличиваются [Неговелов, Вальков, 1985; Иванов, 1986].

Сорт ‘Крымская Смуглянка’ будет хорошо расти на почвах, содержание гидрокарбонатов натрия и магния в которых не превышает 0,20 смоль(экв)/кг почвы. При их содержании 0,25 смоль(экв)/кг в слое 60–100 см количество деревьев этого сорта в плохом состоянии и погибших составит 25% от числа посаженных. Следовательно, эта величина гидрокарбонатов натрия и магния в почве является допустимой для данного сорта.

Таким образом, исследованные сорта *P. cerasifera* являются в основном относительно устойчивыми к ощелачиванию почв. Рассчитаны реально оптимальные и допустимые показатели гидрокарбонатов натрия и магния в почве для ряда сортов *P. cerasifera*. Оценка их относительной устойчивости показывает, что наиболее устойчивыми оказались гибридные сорта ‘Десертная’ и ‘Оленька’. Сорта, полученные путем отбора среди сеянцев местных форм, являются также достаточно устойчивыми к щелочным солям: ‘Кизилташская Ранняя’, ‘Васильевская 41’ и ‘Субхи Ранняя’. Сорт ‘Крымская Смуглянка’ оказался наиболее чувствительным к ощелачиванию и может считаться одним из индикаторов процессов ощелачивания в почвах равнинного Крыма.

4.4. Реакция сорто-подвойных комбинаций *Malus domestica* Borkh. на ощелачивание почвы

Изменение состава солей эдафотопа при ощелачивании, увеличение концентрации токсичных щелочных солей до критического уровня, выщелачивание необходимых ионов при орошении и снижение их подвижности может привести к нарушениям в минеральном питании растений. Последнее проявляется в снижение поглощения некоторых элементов (K, Ca, Mg и др.), относительном накоплении токсичного Na, а также в нарушении соотношения ионов в самом растении [Иванов, 1986; Иванова и др., 1990; Клименко, 1993; Клименко, Клименко, 1997].

Большую роль в устойчивости плодового растения к неблагоприятным экологическим факторам играет подвой. Некоторые подвои могут повышать

устойчивость генотипа к негативным процессам, происходящим в эдафотопе, в том числе и к засолению [Иванов, 1986; Иванов и др., 1998]. Однако влияние подвоя на минеральное питание яблони на почвах, подверженных ощелачиванию, практически не изучено.

Нами было исследовано влияние повышенного содержания токсичных щелочных солей в эдафотопе садового агроценоза *M. domestica* на минеральное питание различных сорто-подвойных комбинациях яблони, чтобы установить влияние сорта и подвоя на реакцию дерева к ощелачиванию почвы и выявить наиболее устойчивые из них для размещения на почвах с повышенной щелочностью [Клименко, 2014].

Более детальное изучение солевого состава темно-каштановой слабосолонцеватой почвы показало, что общая щелочность и содержание гидрокарбонатов натрия и магния под нормально развитыми и угнетенными деревьями неодинаковы. На участках, где содержание гидрокарбонатов натрия и магния не превышало 0,3 смоль(экв)/кг, деревья яблони имели нормальный рост и плодоношение. Эти участки мы обозначили как почва 1 (контроль). Если в почве присутствовала сода или содержание гидрокарбонатов Na и Mg было выше 0,3 смоль(экв)/кг, деревья были в удовлетворительном и плохом состоянии, имели признаки хлороза (почва 2). Ослабление роста деревьев выражалось в уменьшении их высоты и окружности штамба, как интегрального показателя всех синтетических процессов плодового растения [Спиваковский, 1963; Иванов, 1986]. Состав водной вытяжки и содержание токсичной щелочности в почве, а также окружность штамба растений приведены в таблице А. 2.

Полученные данные показывают, что содержание сырой золы и элементов питания в листьях яблони на почве 1 зависело от плодовой породы, сорта и подвоя (рисунок 4.6–4.8). Так у сорта ‘Мелба’, привитом на подвоях М. 5 и М. 9, содержание золы было примерно одинаковым и находилось на уровне 8%, а на подвое ММ. 106 – на 2% ниже (рисунок 4.7). Высоким оно было у сорта ‘Голден Делишес’ на подвое ‘Сары Синап’, а у сорта ‘Ренет Симиренко’ на этом подвое – намного ниже.

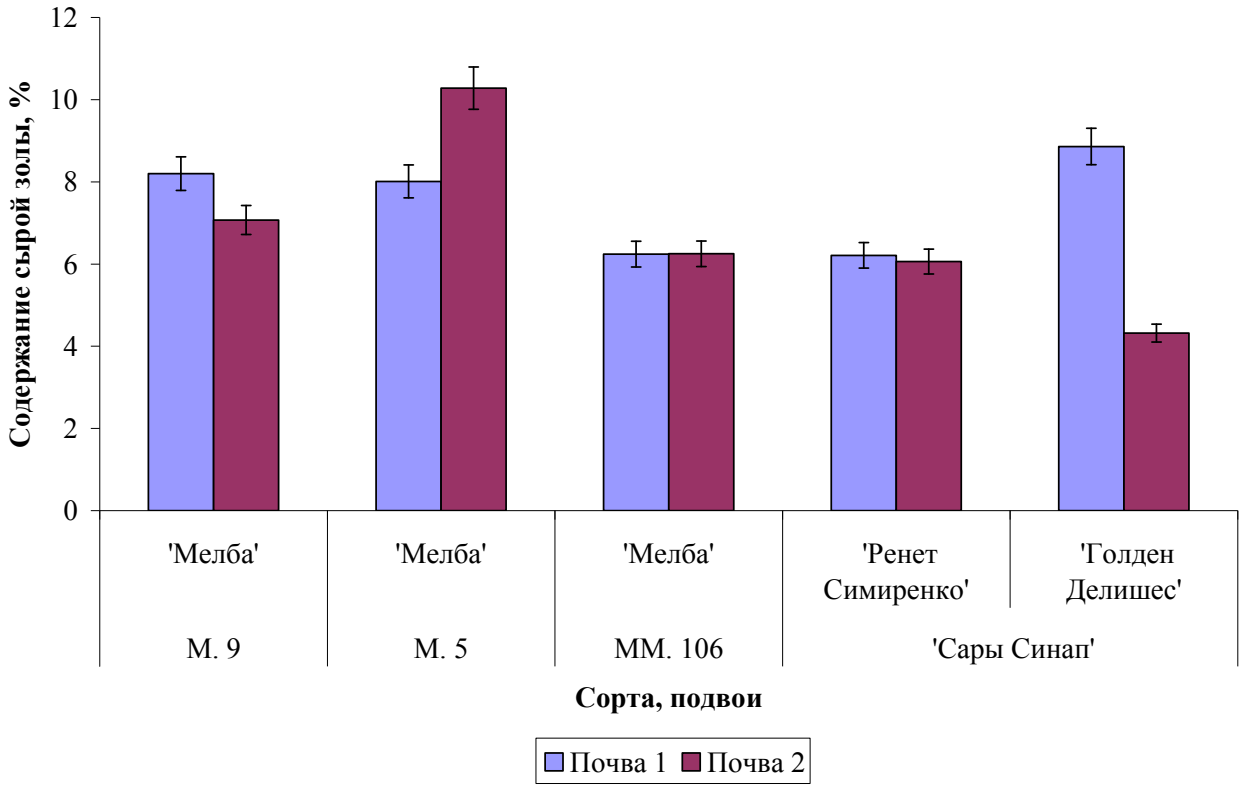

Рисунок 4.7. Содержание сырой золы (%) в листьях *M. domestica* на разных подвоях при ощелачивании почвы

У большинства сорто-подвойных комбинаций *M. domestica*, как и у *P. persica*, на почве 2 содержание золы в листьях снижалось на 0,2–4,5%, а у сорта ‘Мелба’ на подвое М. 5, наоборот, возрастало существенно на 2,2%, что, возможно, связано со значительным накоплением некоторых зольных элементов. У сорта ‘Мелба’ на подвое ММ. 106 оно практически не изменялось. Из данных рисунка 4.6 видно также, что чем больше золы было в листьях контрольных деревьев, тем более существенным колебаниям ее содержание подвергалось при ощелачивании почвы. Так, у сорта ‘Мелба’ на подвое ММ. 106 и ‘Ренет Симиренко’ на подвое ‘Сары Синап’ оно было невысоким, почти одинаковым и мало менялось при ощелачивании почвы. У других изученных сорто-подвойных комбинаций *M. domestica* зольность листьев изменялась существенно.

Содержание **N** в листьях *M. domestica* на всех изученных подвоях на почве 1 находилось в оптимальном диапазоне значений [Зеленская, Кардиналовская, 1978; Семенюк, 1983; Церлинг, 1990]. У сорта ‘Мелба’ на подвоях М. 5 и М. 9 и ‘Ренет

Симиренко’ на ‘Сары Синапе’ концентрация этого элемента в листьях на почве 1 была примерно одинаковой 2,25–2,26% сухой массы листа (рисунок 4.8).

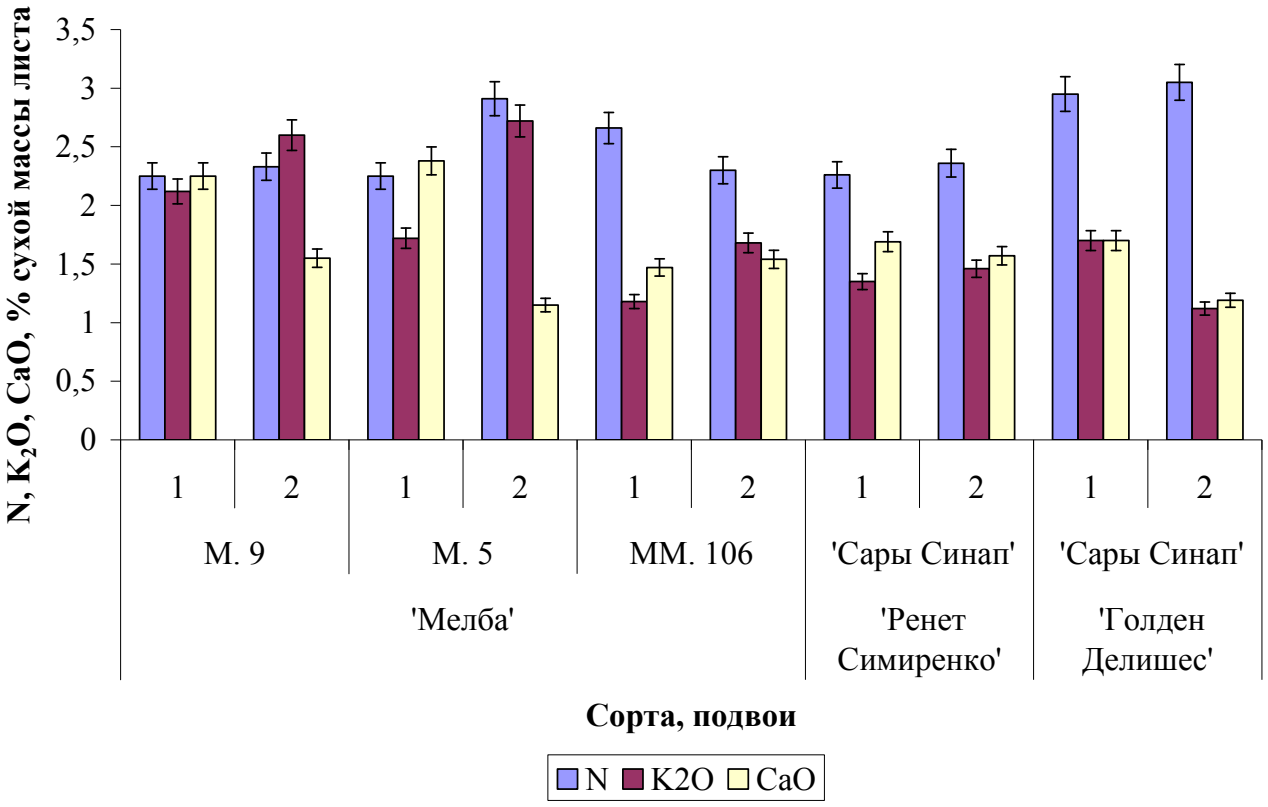

Рисунок 4.8. Изменения содержания N, K_2O и CaO (% сухой массы) в листьях *M. domestica* сортов ‘Мелба’, ‘Ренет Симиренко’ и ‘Голден Делишес’ на разных подвоях при ощелачивании почвы. Примечание. 1 – почва 1; 2 – почва 2

В листьях сорта ‘Мелба’ на подвое ММ. 106 и ‘Голден Делишес’ на ‘Сары Синапе’ отмечено повышенное содержание N в листьях на почве 1 (2,66–2,95%), что у первого сорта определяется свойствами подвоя, у второго – свойствами сорта. Ощелачивание по-разному влияло на содержание N в листьях, что зависело как от сорта, так и от подвоя. У большинства сорто-подвойных комбинаций *M. domestica* содержание этого элемента при ощелачивании увеличивалось, существенно у сорта ‘Мелба’ на подвое М. 5 (на 0,65%), что отмечалось ранее многими исследователями и нашими работами на засоленных почвах [Строгонов, 1962; Иванова, 1974; Иванов, 1986; Клименко, 1993 и др.]. Это связано с

подавлением ростовых процессов по сравнению с синтезом белков, при котором небелковые формы азота накапливаются в листьях.

У сорта ‘Мелба’ на подвое ММ. 106 произошло достоверное снижение содержания N в листьях на почве 2. Это может быть связано со снижением содержания нитратов в почве при содовом засолении [Клименко и др., 2007], а также антагонизмом с Са, содержание которого в данном случае увеличивалось.

Содержание **K_2O** в листьях *M. domestica* на почве 1 было низким, что также определяется генотипом, но у сорта ‘Мелба’ зависело от подвоя. У этого сорта максимальным оно было у деревьев, привитых на М. 9, минимальным — на подвое ММ. 106. Растения на подвое М. 5 по содержанию K_2O в листьях занимали промежуточное положение. У сорта ‘Ренет Симиренко’ концентрация K_2O в листьях деревьев, растущих на почве 1, была достаточно низкой и лишь незначительно увеличивалась под действием ощелачивания. У сорта ‘Голден Делишес’ на подвое ‘Сары Синап’ содержание K_2O в листьях было существенно выше, чем у ‘Ренета Симиренко’, но снижалось на почве 2 и становилось значительно ниже оптимального. Симптомы недостаточности К показаны на рисунке Б. 1.

У сорта ‘Мелба’ на всех подвоях ощелачивание вызывало существенное увеличение содержания K_2O в листьях, несмотря на снижение подвижности этого элемента в почве [Клименко и др., 2007]. Это говорит об адаптации данного сорта к условиям ощелачивания и относительно большей его устойчивости к щелочным солям по сравнению с другими изученными сортами, что также проявилось в условиях вегетационного опыта [Клименко, 1993].

Содержание **CaO** в листьях ‘Мелба’ также зависело от подвоя. У растений, привитых на М. 9 и М. 5, на почве 1 содержание CaO было высоким и примерно одинаковым. У растений на подвое ММ. 106 оно было самым низким из всех изученных нами сорто-подвойных комбинаций. У сортов ‘Ренет Симиренко’ и ‘Голден Делишес’, привитых на ‘Сары Синапе’, содержание CaO в листьях на почве 1 было достаточно низким и примерно одинаковым, что, вероятно, определялось подвоем. Ощелачивание почвы привело к уменьшению содержания

CaO в листьях большинства сорто-подвойных комбинаций, которое опускалось ниже оптимального для *M. domestica* (1,5% сухой массы листа [Церлинг, 1990]) и только у сорта ‘Мелба’ на подвое ММ. 106 мало изменялось и даже имело тенденцию к увеличению.

Как ранее нами было показано в вегетационном опыте [Клименко, 1993] снижение содержания доступного растениям Ca в почве в связи с ее ощелачиванием сопровождалось снижением содержания Ca в листьях *M. domestica*. Это же явление было нами отмечено под влиянием КО, когда содержание Ca у косточковых плодовых растений снижалось пропорционально повышению их кислотности за счет вымывания этого элемента из листьев [Klymenko, Klymenko, 2001]. В связи с этим, содержание CaO в листьях может быть использовано как наиболее чувствительный, тестовый (индикаторный) показатель реакции растения на стресс, в частности, на повышение щелочности почвы и появление соды. Степень изменения содержания CaO в листьях при ощелачивании зависела от устойчивости сортоподвойной комбинации и от ее адаптивных возможностей. Так по степени уменьшения содержания CaO в листьях изученные сорто-подвойные комбинации расположились в следующий возрастающий ряд: ‘Мелба’ на подвое ММ. 106 – ‘Ренет Симиренко’ на ‘Сары Синапе’ – ‘Мелба’ на М. 9 – ‘Мелба’ на М. 5 – ‘Голден Делишес’ на ‘Сары Синапе’.

Таким образом, сорт ‘Мелба’ на подвое ММ. 106 оказался наиболее устойчивым по этому признаку к повышению щелочности, что подтверждается исследованиями Т.Н. Дорошенко с соавторами [2015] об устойчивости подвоя ММ. 106 в условиях щелочной реакции почвы. Сорт ‘Голден Делишес’ на ‘Сары Синапе’ был наиболее чувствительным.

Содержание $\mathbf{P_2O_5}$ в листьях *M. domestica* на разных подвоях на почве 1 было на уровне оптимального (0,5–0,6% на сухую массу листа [Церлинг, 1990]). Ощелачивание почвы мало влияло на содержание этого элемента в листьях сорта ‘Мелба’ на подвое ММ. 106 и ‘Ренет Симиренко’ на ‘Сары Синапе’ (рисунок 4.9).

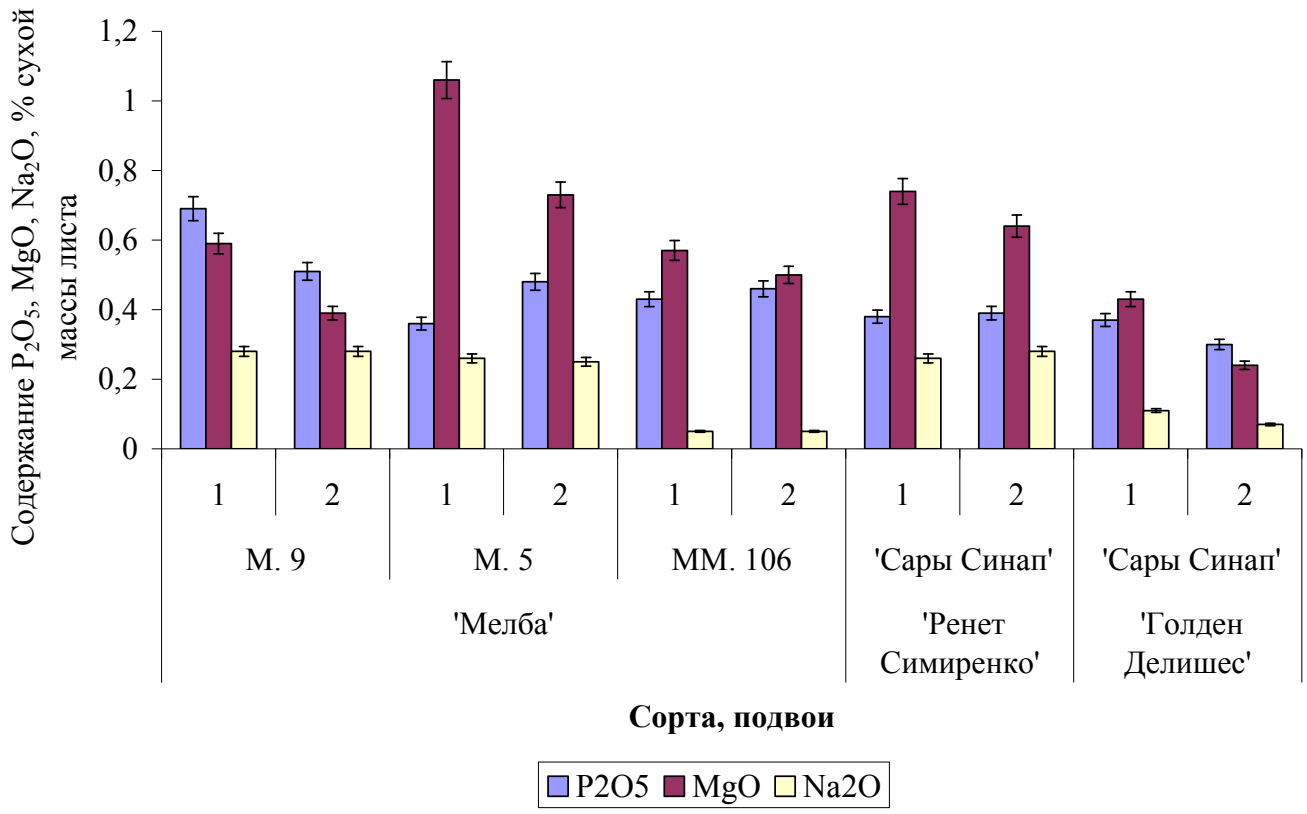

Рисунок 4.9. Изменения концентрации P_2O_5, MgO и Na_2O в листьях *M. domestica* ‘Мелба’, ‘Ренет Симиренко’ и ‘Голден Делишес’ на разных подвоях при ощелачивании почвы. Примечание. 1 – почва 1; 2 – почва 2

Существенное снижение содержания P_2O_5 при ощелачивании и появлении соды в почве отмечено в листьях ‘Мелба’ на подвое М. 9 и ‘Голден Делишес’ на ‘Сары Синапе’, причем оно становилось низким. У сорта ‘Мелба’ на М. 5, наоборот, отмечено увеличение содержания P_2O_5 в листьях на почве 2. Возможно, это связано с резким падением концентрации Ca и Mg у этого сорта при ощелачивании и антагонизмом этих ионов с фосфором.

Содержание **MgO** в листьях *M. domestica* на почве 1 было высоким и находилось в оптимальных пределах. На почве 2 у всех сорто-подвойных комбинаций произошло снижение его содержания от 0,07 (‘Мелба’ на ММ. 106) до 0,30% сухой массы листа (‘Мелба’ на М. 5 и М. 9). У сорта ‘Голден Делишес’ на ‘Сары Синапе’ оно опускалось за нижний предел оптимального содержания для *M. domestica*. Это связано с уменьшением подвижности магния в почве при ощелачивании [Клименко и др., 2007].

Содержание **Na_2O** в листьях *M. domestica* на почве 1 у большинства сорто-подвойных сочетаний было высоким. Это подтверждает ранее сделанный вывод о том, что яблоня, в отличие от *P. persica*, способна накапливать натрий в листьях [Клименко, 1993]. Однако у сорта ‘Мелба’ на подвое ММ. 106 содержание этого элемента было низким. Ощелачивание почвы в указанных пределах не вызвало существенных изменений в содержании этого элемента в листьях большинства изученных сорто-подвойных комбинаций. Лишь у сорта ‘Голден Делишес’ на подвое ‘Сары Синап’ оно несколько повышалось на почве 2, что говорит о слабой устойчивости этой сорто-подвойной комбинации на щелочных и солонцеватых почвах.

Таким образом, минеральное питание определенной сорто-подвойной комбинации плодовой породы, в частности *M. domestica*, специфично и зависит как от сорта, так и от подвоя. На солонцеватых почвах сухой степи, подверженных ощелачиванию, растения *M. domestica* снижали поглощение P, Ca, Mg, а некоторые — K в связи с уменьшением подвижности этих элементов в почве. Это сопровождалось снижением содержания золы в листьях. Минеральный состав листьев ‘Мелба’ был более стабильным в условиях ощелачивания почвы, чем у других изученных сортов, но изменения в содержании элементов питания в листьях при ощелачивании во многом определялись подвоем. Меньше всего изменял состав элементов питания в листьях при ощелачивании сорт ‘Мелба’ на подвое ММ. 106 и эту сорто-подвойную комбинацию можно считать наиболее относительно устойчивой в условиях повышенной щелочности почвы. Сорт ‘Мелба’ на подвое М. 9 оказался менее устойчивым к ощелачиванию. Наиболее чувствительным к ощелачиванию признан сорт ‘Голден Делишес’ на подвое ‘Сары Синап’, что проявлялось в накоплении Na в листьях, значительных колебаниях и дисбалансе элементов питания в растении. Сорт ‘Ренет Симиренко’ на подвое ‘Сары Синап’ занимал промежуточное положение. Степень уменьшения содержания Ca и Mg в листьях при ощелачивании почвы может быть индикаторным показателем на устойчивость *M. domestica* к этому неблагоприятному экологическому явлению.

Таким образом, на орошаемых почвах степного Крыма отмечено спорадическое появление соды (Na_2CO_3) в количествах 0,02–0,10 и гидрокарбонатов натрия и магния в пределах 0,05–0,77 смоль(экв)/кг. Максимальное ощелачивание в большинстве почв отмечено в слое 50–150 см. Величины ощелачивания и частота встречаемости щелочных солей зависели от типа и слоя почвы, наличия солонцеватости, количества карбонатов, проведения плантажной вспашки, степени дренированности территории и др.

Длительное орошение почв степной зоны и проведение плантажной вспашки на лугово-черноземных (агрочерноземах квазиглееватых), черноземно-луговых (агрогумусово-квазиглеевых) и лугово-каштановых (агрокаштановых квазиглееватых) почвах приводило к существенному снижению содержания общих карбонатов в слое 50–150 см, что способствовало повышению содержания гидрокарбонатов натрия и магния, появлению соды и увеличению pH почвы.

Наиболее пригодными для закладки садов яблони, персика и черешни в степном Крыму признаны лугово-черноземные (агрочерноземы квазиглееватые), лугово-каштановые (агрокаштановые квазиглееватые) и каштаново-луговые (агрогумусово-квазиглеевые) слабосолонцеватые почвы на лессовидных породах, если они не имели других ограничивающих продуктивность плодовых культур факторов. Проведение плантажной вспашки на таких почвах привело к усилению ощелачивания. Плодовые породы: слива, абрикос и груша могут выращиваться на большинстве из перечисленных почв без снижения продуктивности.

При ощелачивании почвы до $pH_{водн.}$ 8,6–9,0 и осолонцевании с содержанием обменного Na до 22,6–33,5% от суммы обменных катионов резко снижается содержание $N\text{-}NO_3$ и K_2O, подвижность биогенных микроэлементов-металлов, а также повышается подвижность бора. Все это может вызвать недостаток подвижных форм азота, кальция и марганца для плодовых растений и вызвать отравление бором.

Установлено, что исследованные сорта *P. cerasifera* являются в основном относительно устойчивыми к ощелачиванию почв. Рассчитаны реально оптимальные и допустимые показатели гидрокарбонатов натрия и магния в почве

для ряда сортов *P. cerasifera*. Наиболее устойчивыми оказались сорта: ‘Десертная’, ‘Оленька’, ‘Кизилташская Ранняя’, ‘Васильевская 41’ и ‘Субхи Ранняя’. Сорт ‘Крымская Смуглянка’ оказался наиболее чувствительным к ощелачиванию.

Изучение реакции растений на ощелачивание на физиолого-биохимическом уровне показало, что растения *M. domestica* снижали поглощение P, Ca, Mg, а некоторые – K в связи с уменьшением подвижности этих элементов в почве. Это сопровождалось снижением содержания золы в листьях. Реакция растения на ощелачивание является специфичной для определенной сорто-подвойной комбинации плодовой породы, в частности *M. domestica*. Так, минеральный состав листьев ‘Мелба’ был более стабильным в условиях ощелачивания почвы, чем у других изученных сортов, но изменения в содержании элементов питания в листьях при ощелачивании во многом определялись подвоем. Меньше всего изменял состав элементов питания в листьях при ощелачивании сорт ‘Мелба’ на подвое ММ. 106 и эту сорто-подвойную комбинацию можно считать наиболее относительно устойчивой в условиях повышенной щелочности почвы. Наиболее чувствительным к ощелачиванию признан сорт ‘Голден Делишес’ на подвое ‘Сары Синап’, что проявлялось в накоплении Na в листьях, значительных колебаниях и дисбалансе элементов питания в растении. Сорт ‘Ренет Симиренко’ на подвое ‘Сары Синап’ занимал промежуточное положение. Степень уменьшения содержания Ca и Mg в листьях при ощелачивании почвы может быть индикаторным показателем на устойчивость *M. domestica* к этому неблагоприятному экологическому явлению.

РАЗДЕЛ 5
УЛУЧШЕНИЕ ПОЧВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ОЩЕЛАЧИВАНИЮ, В САДОВЫХ АГРОЦЕНОЗАХ

Одним из способов устранения ирригационного содопроявления на почвах, ранее считавшихся вполне пригодными под сады, является мелиорация их либо перед закладкой сада, либо в плодоносящем садовом агроценозе. Наиболее действенной в орошаемых условиях является химическая мелиорация этих почв гипсосодержащими или кислотообразующими веществами.

Нами было изучено влияние химических мелиорантов: фосфогипса (ФГ) и железного купороса (ЖК), и различных способов их внесения на свойства эдафотопа, а также рост и плодоношение растений *P. persica* для разработки оптимальных доз и способов внесения мелиорантов с учетом их последействия [Клименко, Иванов, 1996; Клименко, 2015].

5.1. Влияние химической мелиорации на солевой состав почвы

В связи с тем, что мелиоранты вносили для нейтрализации щелочных солей в почве, наблюдения вели, прежде всего, за ее солевым составом на протяжении четырех лет, так как указанные мелиоранты вследствие своей слабой растворимости действуют не единовременно, а обладают последействием [Балакай и др., 2011].

Мелиоранты (первый год после внесения) по-разному влияли на содержание иона HCO_3^- в почве. Так применение ФГ несколько снижало ее при обоих способах внесения по сравнению с контролем в слое 0–60 см, в нижних слоях почвы ион HCO_3^- накапливался в небольших количествах (рисунок 5.1). ЖК при глубинном внесении, также способствовал увеличению общей щелочности, существенному в слое 0–60 см. Это вызвано увеличением содержания $Ca(HCO_3)_2$ по всей исследованной толще почвы за счет растворения кальцита кислыми продуктами гидролиза этого мелиоранта (таблица 5.1).

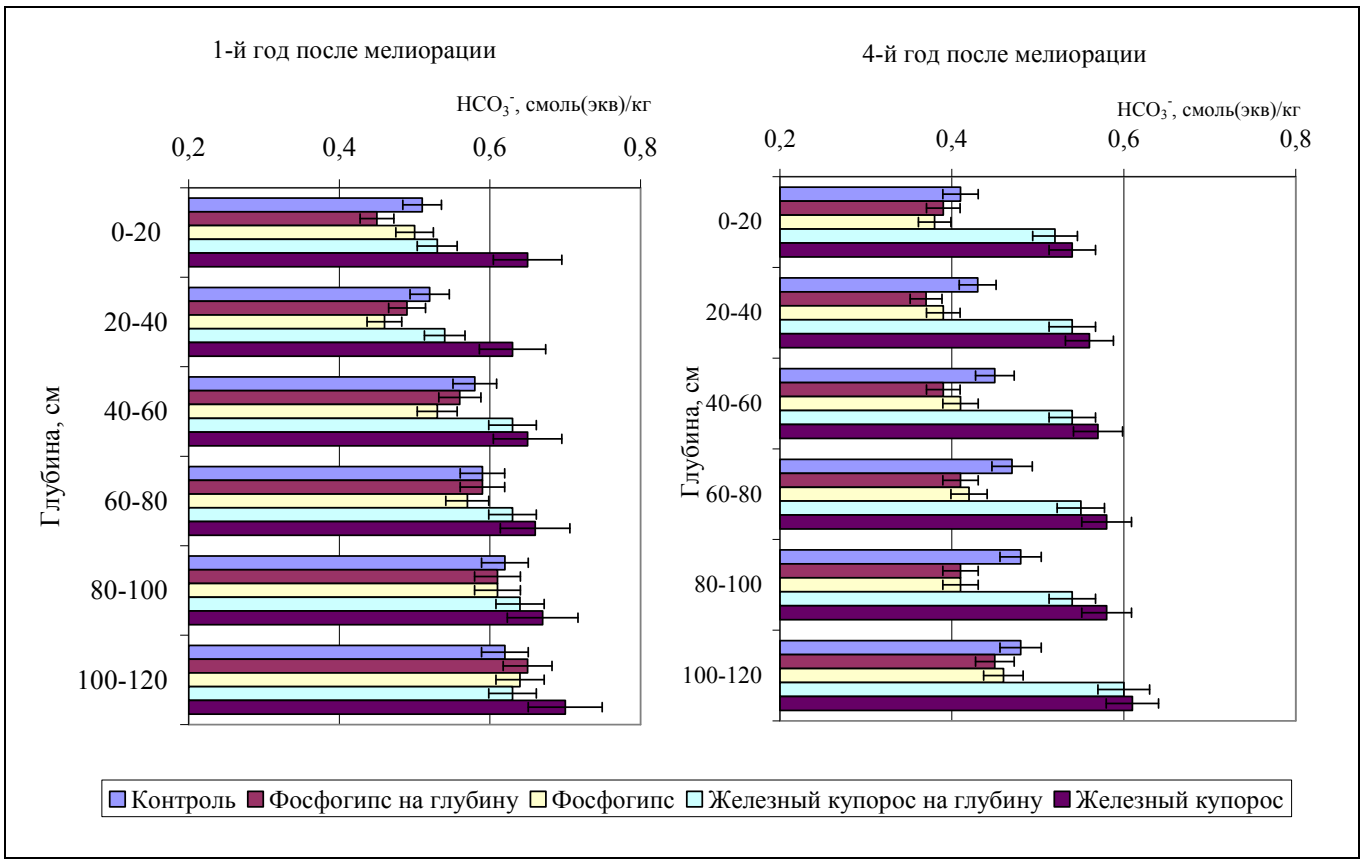

Рисунок 5.1. Влияние мелиорантов и способов их внесения на содержание иона HCO_3^- в водной вытяжке из почвы в первый год и через четыре года после внесения (1990, 1993 гг.)

На второй год после внесения мелиорантов (первый год последействия) содержание иона HCO_3^- в почве при внесении ФГ существенно не отличалась от контроля и колебалась в пределах 0,40–0,60 смоль(экв)/кг. При внесении ЖК на поверхность почвы она достоверно снижалась во всех исследуемой толще почвы до 0,38–0,55 смоль(экв)/кг.

На третий год после внесения мелиорантов в почву (второй год последействия) содержание общей щелочности оставалось низким во всех вариантах опыта, особенно значительное снижение этой величины отмечено при внесении ФГ на глубину — до 0,42–0,60 смоль(экв)/кг) и ЖК на поверхность почвы — до 0,38–0,48 смоль(экв)/кг.

Через четыре года после внесения мелиорантов содержание общей щелочности понизилось особенно значительно под влиянием ФГ. Внесение ЖК

способствовало существенному увеличению ее содержания по всему профилю за счет образования $Ca(HCO_3)_2$ (рисунок 5.1, таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Воздействие мелиорантов на содержание $Ca(HCO_3)_2$ в темно-каштановой (агрокаштановой сегрегационной) слабосолонцеватой почве, смоль(экв)/кг

Глубина, см	Контроль	ФГ на поверхность почвы	ФГ на глубину 50 см	ЖК на поверхность почвы	ЖК на глубину 50 см
первый год после внесения					
0–20	0,46	0,45	0,50	0,53	0,65*
20–40	0,41	0,49	0,43	0,54	0,63
40–60	0,46	0,54	0,49	0,63*	0,56*
60–80	0,34	0,55	0,47	0,63*	0,59*
80–100	0,42	0,48	0,47	0,58*	0,51*
100–120	0,40	0,46	0,45	0,54*	0,47*
второй год после внесения					
0–20	0,38	0,40	0,47	0,38	0,38
20–40	0,40	0,42	0,48	0,40	0,41
40–60	0,40	0,46	0,53*	0,42	0,44
60–80	0,40	0,49	0,56*	0,48	0,50
80–100	0,41	0,53	0,57*	0,48	0,52
100–120	0,41	0,49	0,58*	0,54	0,55*
третий год после внесения					
0–20	0,46	0,49	0,43	0,38	0,44
20–40	0,46	0,46	0,42	0,42	0,46
40–60	0,46	0,45	0,48	0,45	0,42
60–80	0,46	0,42	0,42	0,43	0,51
80–100	0,37	0,38	0,38	0,42	0,43
100–120	0,43	0,24	0,38	0,39	0,37
четвертый год после внесения					
0–20	0,41	0,39	0,38	0,52*	0,54*
20–40	0,42	0,37	0,39	0,54*	0,49
40–60	0,41	0,39	0,41	0,51*	0,46
60–80	0,40	0,37	0,42	0,51*	0,44
80–100	0,40	0,37	0,41	0,45	0,39
100–120	0,34	0,37	0,36	0,43	0,41
* Разница с контролем существенна, $p \leq 0,05$.					

Таким образом, содержание иона HCO_3^- при мелиорации снижалось. При поверхностном внесении обоих мелиорантов ее величина уменьшалась быстрее (на второй год после внесения) и эффект последействия был более продолжительным, чем при внесении мелиорантов на глубину. При глубинном внесении ФГ величина общей щелочности значительно снизилась только на четвертый год после внесения. При внесении ЖК на глубину снижение этой величины отмечалось только на второй и третий год после внесения, затем ее значения опять увеличивались. Тем не менее, величина общей щелочности не может в полной мере характеризовать воздействие мелиорантов на почву, так как в ее состав входят как токсичные щелочные соли (гидрокарбонаты натрия и магния), так и относительно безвредная соль (гидрокарбонат кальция).

Результаты показывают, что в почве произошло увеличение содержания водорастворимого кальция при любом способе применения мелиорантов, особенно заметное в первые два года после их внесения и при разбрасывании ЖК на поверхность почвы, когда оно было почти вдвое и достоверно выше контрольного (рисунок 5.2). Это особенно важно для орошаемых почв, подверженных ощелачиванию, так как плодовые растения на этих почвах испытывают недостаток в кальции, как было показано в разделе 4. В последующие годы содержание водорастворимого кальция в почве, где были внесены мелиоранты, снижалось, но было существенно выше, чем в контроле. При внесении ЖК на поверхность почвы это проявлялось в слое 0–80 см, а при глубинном его внесении — в слое 0–20 см. То есть мелиоративный эффект от внесения ЖК на поверхность почвы сохранялся на протяжении четырех лет.

Что касается состава токсичной щелочности в почве, то в контроле ион CO_3^{2-} был обнаружен на глубине 40–100 см в количестве 0,01 смоль(экв)/кг почвы с частотой 10–100% (таблица 5.2). Мелиоранты в первый год после внесения мало влияли на его содержание, которое было близко к контролю, и только ЖК, внесенный на поверхность почвы, нейтрализовал его до глубины 80 см.

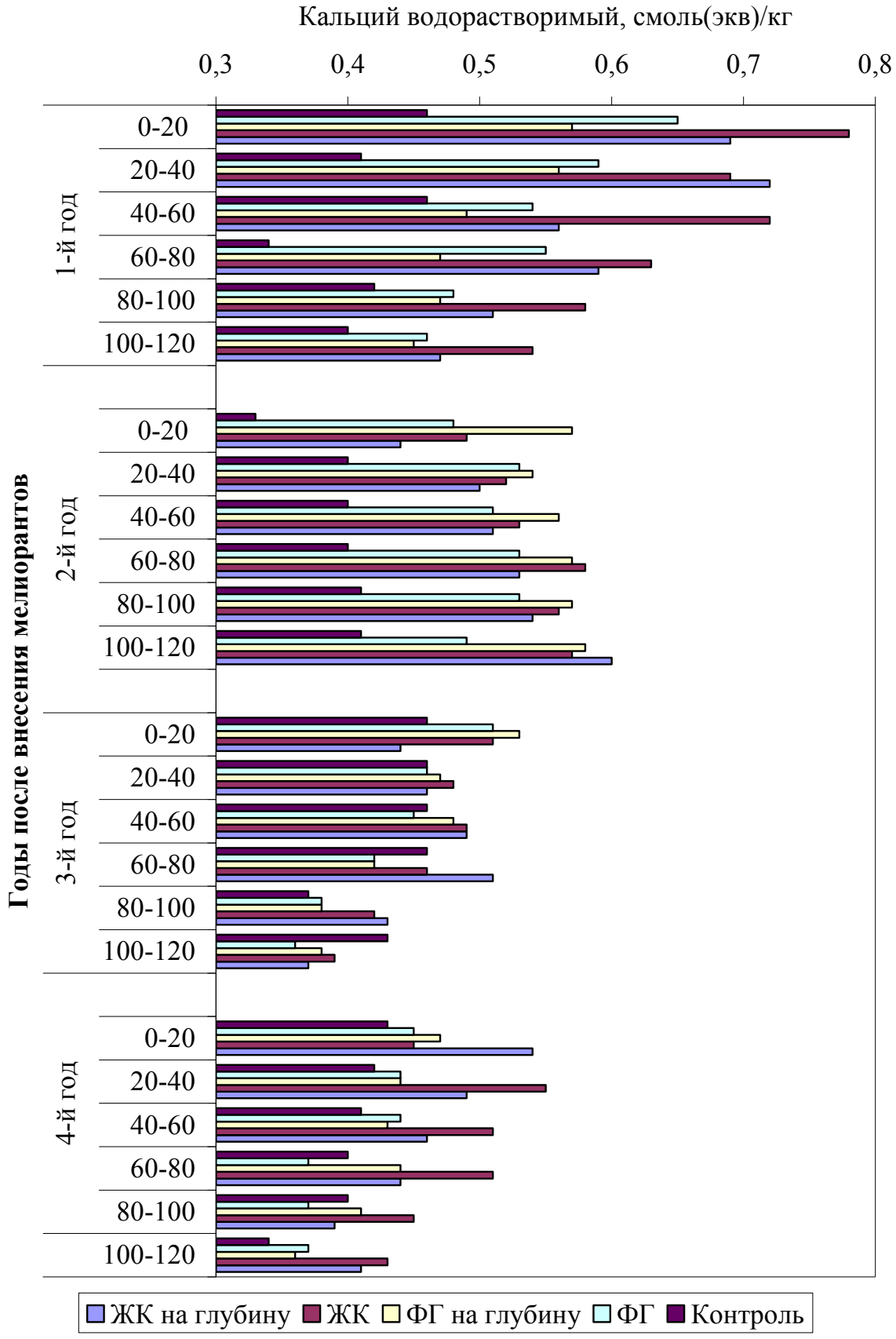

Рисунок 5.2. Изменение концентрации водорастворимого Ca^{2+} в эдафотопе агроценоза *P. persica* в 1−4 годы после мелиорации

В первый год последействия процесс нейтрализации токсичных солей в почве усилился. Сода встречалась лишь в вариантах с внесением ФГ на глубине 80–120 см, вероятность ее встречаемости снизилась до 11–50%.

Таблица 5.2 – Воздействие мелиорантов на содержание соды (Na_2CO_3) в почве, смоль(экв)/кг

Глубина, см	Контроль	ФГ на поверхность почвы	ФГ на глубину 50 см	ЖК на поверх-ность почвы	ЖК на глубину 50 см
первый год после внесения					
0–20	0	0	0	0	0
20–40	0	0	0	0	0
40–60	0,01/10*	0	0	0	0,01/20
60–80	0,01/20	0,01/50	0,01/20	0	0,01/20
80–100	0,01/50	0,02/67	0,02/80	0,02/80	0,02 ± 0,01
100–120	0,01 ± 0,004	0,03 ± 0,01	0,01/60	0,02/80	0,03 ± 0,01
второй год после внесения (первый год последействия)					
0–20	0	0	0	0	0
20–40	0	0	0	0	0
40–60	0	0	0	0	0
60–80	0	0	0	0	0
80–100	0	0	0,01/13	0	0
100–120	0,01/20	0,01/11	0,02/50	0	0
третий год после внесения (второй год последействия)					
0–20	0	0	0	0	0
20–40	0	0	0	0	0
40–60	0	0	0	0	0
60–80	0,01/20	0	0	0	0
80–100	0,01/40	0,01/30	0,02/60	0,01/20	0,01/10
100–120	0,01/40	0,03/80	0,03/80	0,02/40	0,01/20
* Первая цифра – среднее в слое, вторая – процент встречаемости.					

На третий год после внесения мелиорантов содержание соды было незначительным, и она обнаружена лишь в слое 80–120 см независимо от вносимого мелиоранта и способа его внесения с вероятностью 10−80%. На четвертый год (третий год последействия) сода в почве не обнаруживалась также как и гидрокарбонат натрия.

Содержание гидрокарбонатов натрия и магния в эдафотопе также значительно изменялось при мелиорации (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Изменение содержания гидрокарбонатов натрия и магния (смоль(экв)/кг) в почве под действием мелиорантов

Глубина, см	Контроль	ФГ на поверхность почвы	ФГ на глубину 50 см	ЖК на поверхно-сть почвы	ЖК на глубину 50 см
первый год после внесения					
0–20	0,05 ± 0,05	0	0	0	0
20–40	0,11 ± 0,03	0	0	0	0
40–60	0,12 ± 0,04	0,02 ± 0,02	0,04 ± 0,04	0	0,09 ± 0,01
60–80	0,35 ± 0,03	0,04 ± 0,02	0,10 ± 0,04	0	0,07 ± 0,03
80–100	0,20 ± 0,03	0,13 ± 0,04	0,14 ± 0,04	0,06 ± 0,02*	0,16 ± 0,03
100–120	0,23 ± 0,02	0,19 ± 0,05	0,19 ± 0,05	0,09 ± 0,03*	0,23 ± 0,05
второй год после внесения					
0–20	0,04 ± 0,02	0	0	0	0
20–40	0,05 ± 0,02	0	0	0	0
40–60	0,10 ± 0,02	0	0	0	0
60–80	0,14 ± 0,04	0	0	0	0
80–100	0,16 ± 0,04	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0	0
100–120	0,21 ± 0,06	0,04 ± 0,03*	0,02 ± 0,01*	0	0
третий год после внесения					
0–20	0,05 ± 0,04	0	0	0	0,02 ± 0,02
20–40	0,06 ± 0,03	0,05 ± 0,02	0	0	0,03 ± 0,01
40–60	0,09 ± 0,02	0,07 ± 0,02	0	0	0,02 ± 0,02*
60–80	0,11 ± 0,03	0,14 ± 0,02	0,10 ± 0,03	0	0,01 ± 0,01*
80–100	0,17 ± 0,03	0,20 ± 0,03	0,17 ± 0,02	0,03 ± 0,02*	0,08 ± 0,03
100–120	0,15 ± 0,04	0,24 ± 0,02	0,22 ± 0,02	0,09 ± 0,04	0,17 ± 0,04
четвертый год после внесения					
0–20	0	0	0	0	0
20–40	0,01 ± 0,01	0	0	0	0,07 ± 0,02
40–60	0,04 ± 0,02	0	0	0,03 ± 0,01	0,11 ± 0,03
60–80	0,07 ± 0,03	0,04 ± 0,02	0	0,04 ± 0,02	0,14 ± 0,04
80–100	0,06 ± 0,02	0,04 ± 0,02	0	0,09 ± 0,03	0,19 ± 0,04
100–120	0,14 ± 0,05	0,08 ± 0,02	0,10 ± 0,04	0,17 ± 0,05	0,20 ± 0,05
* Разница с контролем существенна, $p \leq 0,05$.					

Если в контроле гидрокарбонат натрия встречался с глубины 60 см в количестве 0,02–0,08 смоль(экв)/кг, то в результате мелиорации произошла его полная нейтрализация. Гидрокарбонат магния при любом способе мелиорации также не обнаруживался в слое 0–40 см, а при внесении ЖК на поверхность почвы – до глубины 80 см.

На глубине 40–80 см количество гидрокарбонатов натрия и магния сократилось в 2–8 раз и стало нетоксичным для *P. persica* [Клименко, 1988; Клименко, Иванов, 1996].

Спустя два года после внесения мелиорантов процесс нейтрализации гидрокарбонатов натрия и магния в почве усилился. При использовании ФГ эти соли были нейтрализованы до глубины 80 см, ниже по профилю их содержание было очень низким. Внесение ЖК полностью нейтрализовало эти соли до глубины 120 см.

На третий год после внесения ФГ на поверхность и ЖК на глубину (второй год последействия) содержание гидрокарбонатов магния восстанавливалось и оставалось в пределах первого года после внесения мелиорантов. Наибольший эффект последействия по нейтрализации щелочности был зафиксирован при внесении ЖК на поверхность почвы. Здесь $Mg(HCO_3)_2$ встречался с глубины 80 см в ничтожных количествах, гидрокарбонат натрия в почве отсутствовал.

На четвертый год после внесения мелиорантов (третий год последействия) гидрокарбонат натрия в почве отсутствовал. Содержание гидрокарбоната магния при использовании ФГ продолжало оставаться низким, при использовании ЖК восстанавливалось до контрольного.

Таким образом, мелиорация способствовала нейтрализации щелочных солей в почве, особенно быстрой и интенсивной под действием ЖК. Это привело к некоторому накоплению продуктов обмена. В первый год после внесения мелиорантов произошло увеличение количества сульфатов натрия и магния (таблица 5.4). Особенно значительным оно было при внесении ЖК на поверхность почвы (разница с контролем в слое 20−100 см существенна), что

свидетельствует о большей его растворимости и реакционной способности по сравнению с ФГ.

Таблица 5.4 – Влияние химической мелиорации на содержание сульфатов натрия и магния в почве (смоль(экв)/кг), n = 5−9

Глубина, см	Контроль	ФГ на поверхность почвы	ФГ на глубину 50 см	ЖК на поверхность почвы	ЖК на глубину 50 см
первый год после внесения					
0–20	0,28 ± 0,04	0,36 ± 0,04	0,40 ± 0,07	0,33 ± 0,04	0,34 ± 0,05
20–40	0,25 ± 0,03	0,34 ± 0,06	0,40 ± 0,03*	0,39 ± 0,06	0,32 ± 0,03
40–60	0,27 ± 0,03	0,35 ± 0,05	0,44 ± 0,05*	0,35 ± 0,05	0,35 ± 0,01
60–80	0,12 ± 0,03	0,33 ± 0,06**	0,36 ±0,07**	0,39 ± 0,05***	0,43±0,02***
80–100	0,17 ± 0,03	0,23 ± 0,03	0,36 ± 0,06*	0,41 ± 0,11	0,28 ± 0,05
100–120	0,22 ± 0,04	0,22 ± 0,03	0,43 ± 0,09	0,56 ± 0,07***	0,32 ± 0,05
четвертый год после внесения					
0–20	0,25 ± 0,03	0,25 ± 0,01	0,24 ± 0,02	0,38 ± 0,02**	0,29 ± 0,03
20–40	0,25 ± 0,02	0,28 ± 0,02	0,28 ± 0,02	0,40 ± 0,02**	0,27 ± 0,03
40–60	0,23 ± 0,02	0,26 ± 0,01	0,29 ± 0,02	0,41 ± 0,02**	0,20 ± 0,03
60–80	0,23 ± 0,02	0,25 ± 0,02	0,33 ± 0,05	0,43 ± 0,03*	0,19 ± 0,04
80–100	0,24 ± 0,03	0,27 ± 0,01	0,35 ± 0,06	0,45 ± 0,03***	0,26 ± 0,03
100–120	0,20 ± 0,02	0,27 ± 0,03	0,30 ± 0,07	0,37 ± 0,03**	0,31 ± 0,05
* Разница с контролем соответствующего года существенна, $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.					

На четвертый год после внесения мелиорантов произошло существенное накопление $MgSO_4$ при поверхностном внесении ЖК, однако было нетоксичным для плодовых растений, в остальных вариантах концентрация этой соли была близкой к контролю.

Таким образом, токсичные продукты обмена накапливались в почве после мелиорации в незначительных количествах, и уже после трех лет последействия их концентрация значительно снизилась.

Известно, что при взаимодействии кислых солей с карбонатами почвы образуется гипс, который также способен нейтрализовать щелочные соли [Клименко, Иванов, 1996]. В почве контрольного варианта в слое 0–120 см гипс не обнаруживался на протяжении всего опыта. Внесение мелиорантов привело к его образованию (таблица 5.5). На второй год последействия гипс присутствовал в почве всех вариантов опыта. Это отчасти способствовало нейтрализации

токсичной щелочности при внесении ЖК. Наиболее значительные количества гипса зафиксированы при внесении ФГ на поверхность почвы. С глубиной концентрация $CaSO_4$ снижалась во всех вариантах. В варианте с внесением ФГ на глубину гипс был обнаружен по всему профилю почвы. Та же закономерность проявилась и на третий год последействия этого мелиоранта, что говорит о более длительном и постепенном протекании реакций в почве при глубинном его внесении.

Таблица 5.5 – Содержание гипса ($CaSO_4$) в почве при мелиорации, смоль(экв)/кг

Глубина, см	ФГ на поверхность почвы	ФГ на глубину 50 см	ЖК на поверхность почвы	ЖК на глубину 50 см
первый год после внесения				
0 – 20	0,20	0,08	0,02	0,08
20 – 40	0,10	0,11	0	0,07
40 – 60	0	0,05	0	0,05
60 – 80	0	0,04	0	0
80 – 100	0	0	0	0
100 – 120	0	0	0	0
третий год после внесения (второй год последействия)				
0 – 20	0,25	0,11	0,13	0,03
20 – 40	0,15	0,12	0,06	0,01
40 – 60	0,09	0,11	0,04	0
60 – 80	0	0,10	0,03	0
80 – 100	0	0,08	0	0
100 – 120	0	0,03	0	0
четвертый год после внесения (третий год последействия)				
0 – 20	0,04	0,06	0	0
20 – 40	0,09	0,09	0	0
40 – 60	0	0,07	0	0
60 – 80	0	0,03	0	0
80 – 100	0	0,02	0	0
100 – 120	0	0,05	0	0

При внесении ЖК гипс в почве в это время не встречался. Это также свидетельствует о большей реакционной способности ЖК, связанной с его большей растворимостью, по сравнению с ФГ.

Таким образом, выбранные мелиоранты обладали значительным нейтрализующим действием на щелочные соли в почве. Особенно активным в этом смысле оказался ЖК независимо от способа внесения. При мелиорации почва обогащалась водорастворимым Ca^{2+} и гипсом, как за счет внесения их с мелиорантами (ФГ), так и в результате образования в почве (ФГ и ЖК). Другие продукты реакций обмена (сульфаты натрия и магния) не накапливались в почве в токсичных количествах для плодовых культур. Нейтрализация вредных щелочных солей и обогащение почвы гипсом в результате внесения ФГ обнаруживалась на протяжении четырех лет наблюдений. ЖК в первые два года после внесения действовал на почву более интенсивно, но к четвертому году его нейтрализующее влияние ослабевало, особенно при глубинном способе внесения. При этом содержание водорастворимого кальция оставалось более высоким, чем в контроле. Все это свидетельствует о том, что для нейтрализации щелочных солей и снижения их содержания до уровней нетоксичных для плодовых культур, необходима мелиорация почвы гипсосодержащими или кислотообразующими веществами, такими как ФГ или ЖК. При этом внесение мелиорантов следует повторять каждые 4–5 лет, в связи с тем, что их действие ослабевает со временем. Поверхностное внесение мелиорантов приводило к более быстрому и интенсивному изменению содержания солей в почве, на глубину 50 см — более медленному и постепенному.

5.2. Изменение состава обменных катионов в почве при мелиорации

Состав поглощенных оснований – важная характеристика почвы, от которой зависят многие физические и химические свойства, и, следовательно, рост и продуктивность плодовых культур. Результаты наших исследований свидетельствуют, что в почве контрольного варианта содержалось 10,1–12,4 смоль(экв)/кг обменного Ca^{2+} с максимумом в слое 40–60 см; 2,9–4,3 смоль(экв)/кг обменного Mg^{2+}, содержание которого возрастало с глубиной, и 0,7–0,8 смоль(экв)/кг поглощенного Na^{+}, равномерно распределенного по

исследованной толще (таблица 5.6). Обменный Ca^{2+} составлял 60–82 % от суммы катионов, причем относительное его количество было максимальным в слое 0–40 см и снижалось вниз по профилю; содержание обменного Mg^{2+} составляло 14–32% от суммы катионов, обменного Na^{+} — 4–6%, которые имели ту же закономерность в распределении по профилю, что и ион Ca^{2+}.

Воздействие мелиорантов на почвенный поглощающий комплекс (ППК) в первый год после их внесения проявлялось незначительно. Установлена тенденция к снижению абсолютного содержания обменного Ca^{2+} и увеличению как абсолютного, так и относительного количества обменного Na^{+} в слое 40–100 см при глубинном внесении ФГ и обоих способах внесения ЖК. Кроме того, внесение ФГ на глубину 50 см увеличило содержание обменного Mg^{2+} в метровой толще почвы. Это может быть связано со значительным увеличением количества продуктов обмена в почве (сульфатов натрия и магния) и внедрением ионов Na^{+} и Mg^{2+} в ППК.

Таблица 5.6 – Содержание обменных катионов в почве (смоль(экв)/кг) при мелиорации

Сроки наблюдений	Катионы	Глубина, см	Варианты опыта				
			Контроль	1	2	3	4
Первый год после внесения мелиорантов	Ca^{2+}	0–40	11,6	11,8	11,4	11,0	10,0
		40–60	12,4	12,6	11,1	11,1	11,0
		60–100	10,1	10,7	10,4	9,8	8,3
	Mg^{2+}	0–40	2,9	3,3	3,4	2,9	2,5
		40–60	3,5	2,2	5,6*	2,5	2,9
		60–100	4,3	4,3	4,9	4,0	5,2
	Na^{+}	0–40	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6
		40–60	0,7	0,9	0,7	0,8	0,8
		60–100	0,8	0,9	0,7	0,9	0,8
	Сумма	0–40	15,2	15,8	15,4	14,5	13,1
		40–60	16,6	15,7	17,4	14,4	14,7
		60–100	15,2	15,9	16,0	14,7	14,3
Первый год последействия	Ca^{2+}	0–40	8,4	8,3**	7,8**	15,0*/**	15,1*/**
		40–60	10,3	10,1	9,1	13,2**	14,7**
		60–100	8,6	10,4*	9,8	11,4*	11,8*/**
	Mg^{2+}	0–40	3,3	3,3	3,2	3,6	4,5*

		40–60	3,5	3,8	6,3	4,4**	3,3
		60–100	5,2	5,3	4,2	5,6**	6,6**
	Na^+	0–40	0,4	0,3	0,5	0,8	0,8
		40–60	0,8	0,3	0,6	0,9	0,9
		60–100	0,8	0,7	0,9	0,9	1,0
	Сумма	0–40	12,1	11,9	11,5**	19,4*/**	20,4*/**
		40–60	14,6	14,2	16,0	18,5**	18,9**
		60–100	14,6	16,4	14,9	17,9*/**	19,4*/**
* Разница с контролем существенна, $p \leq 0,05$; ** разница с первым годом после внесения существенна, $p \leq 0,05$; 1 – ФГ на поверхность, 2 – ФГ на глубину 50 см, 3 – ЖК на поверхность, 4 – ЖК на глубину 50 см.							

Внесение ЖК привело к незначительному снижению суммы обменных катионов во всей исследуемой толще почвы по сравнению с контролем (различия незначимы), что может быть вызвано частичным разрушением ППК кислотными продуктами гидролиза мелиоранта.

На второй год после внесения мелиорантов (первый год последействия) при использовании ФГ отмечены те же тенденции в изменении содержания обменных Ca^{2+} и Mg^{2+} по сравнению с контролем, что и в первый после применения мелиорантов. В слое 0–40 см произошло достоверное снижение количества обменного Ca^{2+} по сравнению с первым годом опыта при обоих способах внесения. Сумма обменных катионов также существенно снизилась при глубинном способе внесения. Однако количество обменного Na^+ уменьшилось, особенно значительно в слое 0–60 см при поверхностном способе внесения ФГ. ЖК, наоборот, способствовал значительному накоплению обменного Ca^{2+} в слоях 0–40 и 60–100 см по сравнению с контролем и по всему профилю почвы в сравнении с первым годом после внесения мелиоранта. Относительное содержание обменного Ca^{2+} возросло незначительно, что связано с одновременным накоплением обменного Mg^{2+}, особенно в слое 40–60 см при поверхностном, и в слое 0–40 см при глубинном внесении ЖК.

Внесение этого мелиоранта на глубину способствовало последействию в накоплении обменного Mg^{2+} на второй год по сравнению с первым. При этом сумма обменных катионов достоверно увеличилась по всему профилю.

Количество обменного Na^+ при этом возросло вдвое по сравнению с контролем и имело тенденцию к увеличению в слое 40–100 см по сравнению с первым годом опыта, как в абсолютных, так и в относительных величинах.

Таким образом, в год последействия влияние мелиорантов на ППК было более значительным, чем в год внесения, и противоположным по влиянию на количество обменного Ca^{2+} и суммы обменных катионов. При внесении ФГ их содержание уменьшалось, при внесении ЖК – увеличивалось. Возможно, это связано с колебанием pH при взаимодействии мелиорантов с почвой, что влияет на реакции обмена, а также с взаимодействием первых растворимых фракций мелиорантов сначала с почвенным раствором, а затем с ППК. В целом ЖК в большей мере влиял на состав поглощенных катионов, чем ФГ при обоих способах внесения, и способствовал значительному накоплению обменного Ca^{2+} в почве.

5.3. Влияние мелиорации на содержание подвижных форм элементов питания в почве

При мелиорации важно контролировать содержание основных элементов питания в почве, которое определяет режим минерального питания плодовых растений. От содержания элементов питания зависит урожай и его качество. Установлено, что в первый год после внесения мелиорантов в почве контроля содержание нитратного азота было низким и снижалось с глубиной (таблица 5.7). Содержание подвижных форм P_2O_5 было на уровне среднего, обменного K_2O — оптимальное [Копитко, 2001]. Внесение мелиорантов способствовало накоплению всех этих элементов по сравнению с контролем. В варианте с внесением ЖК на поверхность почвы отмечено достоверное увеличение содержания P_2O_5 в слое 0–80 и обменного K_2O в слое 40–80 см в первый год после внесения. В первый год последействия эта закономерность также выявлена, и в большей мере проявилось влияние ФГ на содержание P_2O_5. В варианте с глубинным внесением этого мелиоранта, содержание P_2O_5 достоверно увеличилось в слое 20–80 см по

сравнению с контролем, хотя абсолютные значения P_2O_5 были невысокими и находились в пределах низкого уровня обеспеченности.

Таблица 5.7 – Содержание подвижных форм элементов питания в почве, мг/кг

Вариант	Глубина, см	$N–NO_3$		P_2O_5		K_2O	
		Годы после внесения мелиорантов					
		1-й	2-й	1-й	2-й	1-й	2-й
Контроль	0–20	3,6	2,2	33,8	9,3	538	560
	20–40	3,6	1,1	21,7	5,0	432	426
	40–60	2,3	1,3	15,9	3,1	364	344
	60–80	1,2	1,2	11,0	3,5	276	278
1**	0–20	3,3	2,1	35,8	13,7	561	677
	20–40	3,4	1,3	25,8	5,5	455	388
	40–60	1,9	0,8	17,0	5,0	381	329
	60–80	1,6	1,0	15,0	4,4	275	265
2	0–20	2,7	2,3	42,5	19,5	530	624
	20–40	4,9	2,0*	26,2	8,4*	462	379
	40–60	2,3	1,4	17,6	7,6*	359	349
	60–80	1,2	1,6	13,0	6,9*	250	273
3	0–20	5,1	3,1*	44,4*	19,6*	522	732*
	20–40	5,4	1,3	34,8*	6,1	477	339*
	40–60	2,5	1,2	21,7*	4,5	429*	265*
	60–80	0,6	1,3	16,9*	3,6	392*	202*
4	0–20	2,9	2,7	33,5	13,7	513	681
	20–40	2,7	1,8	26,3	4,9	472	324*
	40–60	1,5	2,0	17,4	4,0	403	221*
	60–80	0,8	1,3	11,3	3,7	353*	190*
Оптимум для плодовых культур [Копитко, 2001]		15 – 30		23 – 27		141 – 210	

* Разница с контролем существенна, $p \leq 0,05$; ** разница с первым годом после внесения существенна, $p \leq 0,05$; 1 – ФГ на поверхность, 2 – ФГ на глубину 50 см, 3 – ЖК на поверхность, 4 – ЖК на глубину 50 см.

Содержание $N–NO_3$ в почве в первый год последействия снизилось по сравнению с первым годом после мелиорации в контроле и по вариантам опыта. Внесение ФГ на глубину и ЖК обоими способами способствовало накоплению этого элемента преимущественно в слое 0–60 см по сравнению с контролем, однако содержание его было на уровне низкого. Некоторое увеличение

концентрации $N–NO_3$ в почве при внесении мелиорантов может быть связано с растворением малорастворимых соединений нитратов кислыми продуктами мелиорации.

В первый год последействия содержание K_2O в слое почвы 0–20 см во всех вариантах опыта значительно возросло по сравнению с контролем и стало высоким, ниже по профилю снижалось, под действием ЖК достоверно.

Таким образом, влияние ЖК как более растворимого мелиоранта проявилось уже в первый год опыта и выразилось в увеличении содержания подвижных форм азота, фосфора и калия в почве в варианте с поверхностным его внесением благодаря растворению слаборастворимых соединений. ФГ, как труднорастворимый мелиорант, лучше проявил себя через два года после внесения, что способствовало достоверному накоплению $N–NO_3$ и P_2O_5 в варианте с глубинным его внесением.

5.4. Влияние химической мелиорации на рост и продуктивность растений *P. persica*

При внесении мелиорантов в почву происходит изменение физических и химических свойств, меняется солевой состав, нередко с образованием промежуточных продуктов обмена, которые могут неблагоприятно влиять на рост, состояние и плодоношение плодового дерева. Поэтому важно знать, как изменяются эти показатели в период после внесения мелиорантов, включая их последействие.

Одной из количественных характеристик роста и состояния плодового растения является окружность штамба (ОШ), которая коррелирует с общим весом дерева, суммарным приростом древесины и урожайностью [Шитт, 1958; Спиваковский, 1963]. В связи с тем, что деревья *P. persica* к началу опыта были в разном состоянии, средняя на вариант опыта ОШ мало отражала влияние мелиорации. Поэтому в качестве показателя использовали суммарный прирост ОШ деревьев за три года опыта (таблица 5.8). Установлено, что при внесении ФГ

у всех пяти исследованных сортов *P. persica* увеличился прирост ОШ по сравнению с контролем. Достоверным это увеличение было у сорта ‘Мэйфлауэр’ независимо от способа внесения мелиоранта и у сорта ‘Герой Севастополя’ при глубинном его внесении.

Применение ЖК способствовало большему, чем в контроле, нарастанию ОШ у сорта ‘Кудесник’ при обоих способах внесения, при поверхностном – достоверному. У сорта ‘Успех’ только при глубинном способе внесения мелиоранта отмечена тенденция к увеличению этого показателя. У всех остальных сортов прирост окружности штамба уменьшился при внесении в почву ЖК по сравнению с контролем на 0,6–2,0 см; у сорта ‘Маяковский’ это снижение было достоверным при поверхностном его внесении.

Таблица 5.8 – Суммарный прирост ОШ деревьев *P. persica* на подвое *P. dulcis* за три года опыта

Сорт	ФГ		Сорт	ЖК	
	вариант опыта	прирост ОШ, см		вариант опыта	прирост ОШ, см
‘Мэйфлауэр’*	Контроль	3,1	‘Кудесник’	Контроль	5,6
	1	5,5**		3	7,8**
	2	5,2**		4	6,0
‘Пушистый Ранний’	Контроль	3,5	‘Маяковский’	Контроль	7,0
	1	4,8		3	5,0**
	2	4,9		4	5,3
‘Герой Севастополя’	Контроль	3,4	‘Лауреат’	Контроль	6,8
	1	2,8		3	6,1
	2	4,4**		4	6,8
‘Сочный’	Контроль	4,3	‘Советский’	Контроль	5,7
	1	6,0		3	5,1
	2	5,7		4	4,8
‘Золотой Юбилей’	Контроль	3,7	‘Успех’	Контроль	5,7
	1	3,8		3	4,9
	2	4,8		4	6,4
Примечание. 1 – ФГ на поверхность, 2 – ФГ на глубину 50 см, 3 – ЖК на поверхность, 4 – ЖК на глубину 50 см; * Сорта размещены по срокам созревания; ** разница с контролем соответствующего сорта существенна, $p \leq 0.05$;					

Таким образом, ФГ положительно повлиял на рост деревьев *P. persica* всех исследованных сортов; ЖК, как более жесткий, быстродействующий препарат вызвал замедление роста большинства из них по сравнению с контролем, кроме сортов ‘Кудесник’ и ‘Успех’, хотя внешних признаков угнетения выявлено не было.

Результирующим показателем условий произрастания дерева, важным в экономическом отношении, является его продуктивность. В связи с тем, что она значительно варьировала в зависимости от метеорологических условий года, мы учитывали количество и массу плодов в течение пяти лет после мелиорации (рисунок 5.3).

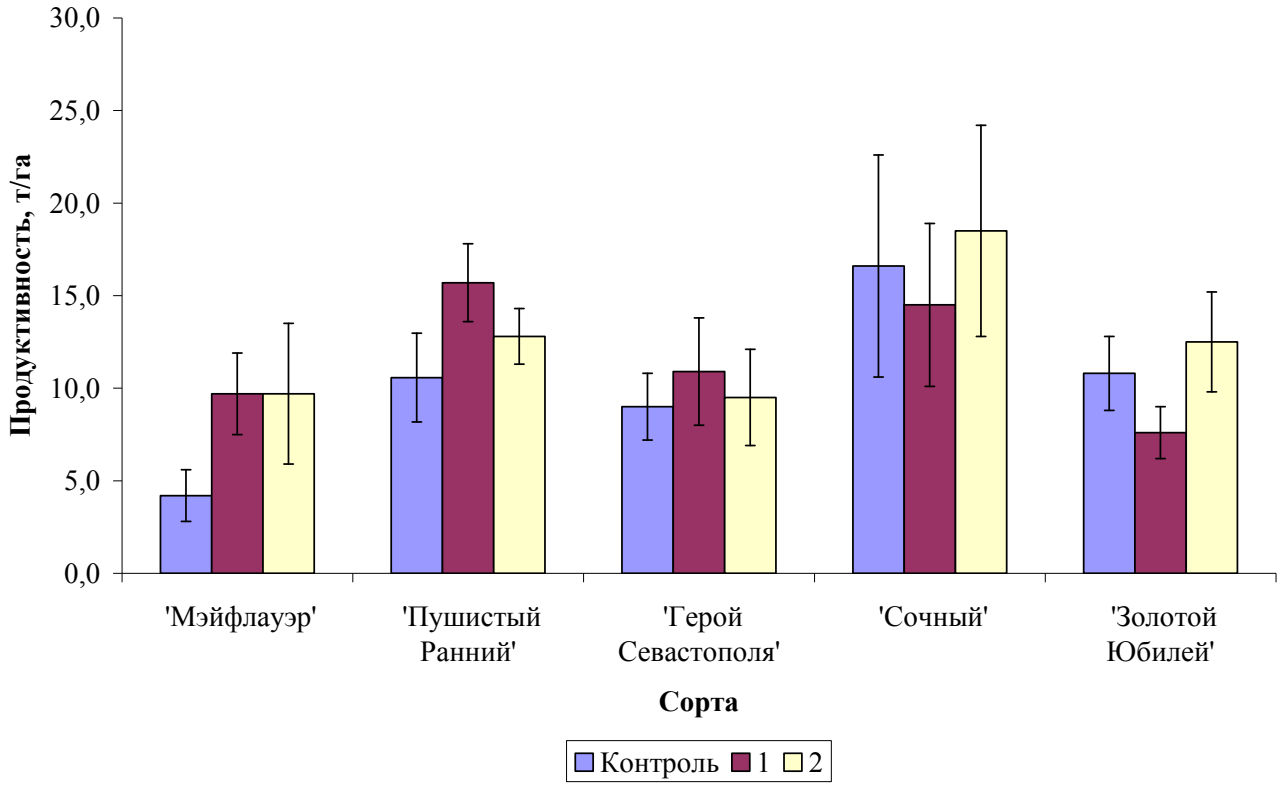

Рисунок 5.3. Влияние мелиорации фосфогипсом (ФГ) на плодоношение сортов *P. persica*, среднее за 5 лет. Примечание. 1 – ФГ на поверхность, 2 – ФГ на глубину 50 см

Установлено, что применение ФГ повышало урожай плодов (среднее за пять лет) у трех сортов из пяти исследованных независимо от способа внесения, причем у ‘Мэйфлауэр’ это увеличение было достоверным при обоих, а у

‘Пушистый Ранний’ при поверхностном способе внесения. У сортов ‘Сочный’ и ‘Золотой Юбилей’ некоторое увеличение продуктивности отмечено лишь при глубинном внесении ФГ.

Внесение ЖК неоднозначно влияло на продуктивность сортов персика. Воздействие мелиорации создавало тенденцию к увеличению продуктивности сортов ‘Маяковский’ и ‘Успех’ при глубинном и ‘Советский’ при обоих способах внесения мелиоранта в среднем за 5 лет опыта на 0,2–1,7 т/га (рисунок 5.4). Сорта ‘Кудесник’ и ‘Лауреат’ отреагировали на мелиорацию снижением продуктивности при обоих способах внесения мелиоранта по сравнению с контролем, причем у последнего это снижение было достоверным и составило 3,7 т/га.

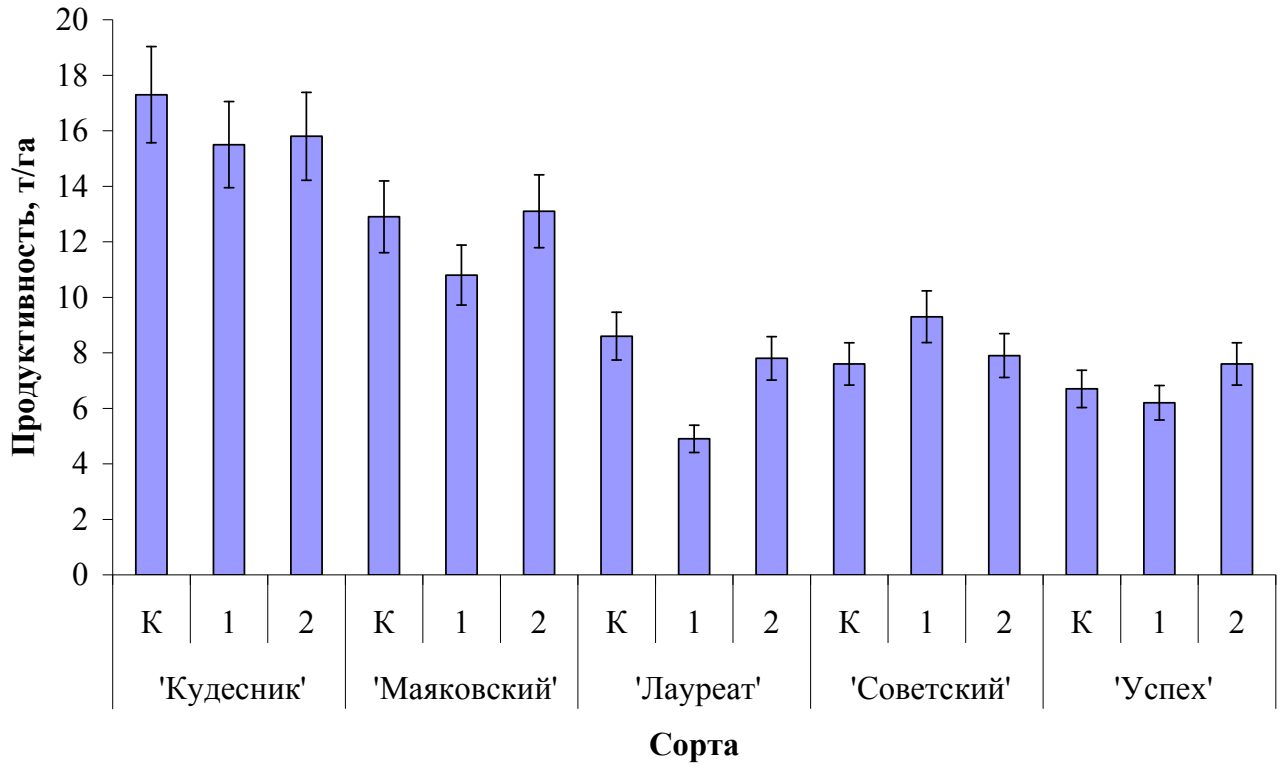

Рисунок 5.4. Влияние мелиорации железным купоросом (ЖК) на продуктивность *P. persica.* Примечание. К – контроль; 1 – ЖК на поверхность; 2 – ЖК на глубину 50 см

Это может быть связано с негативной реакцией сортов на резкое снижение реакции среды и образование продуктов реакции нейтрализации щелочных солей, обмена и гидролиза.

В среднем по плодовой породе внесение ФГ на поверхность почвы увеличило урожай плодов на 1,5 (10,2 т/га в контроле), а при глубинном — на 2,4 т/га. Различия статистически недоказуемы из-за большого варьирования этого показателя по годам и индивидуальной реакции сортов.

Применение ЖК в целом по всем сортам снизило продуктивность *P. persica* на 1,5 (поверхностное) и 0,2 (глубинное) т/га в среднем за 5 лет по сравнению с контролем, где урожай составил 10,6 т/га. Следовательно, мелиорацию почвы ЖК желательно проводить в молодых насаждениях или перед закладкой сада.

Установлено, что если мелиоранты являются отходами производства, то затраты на мелиорацию сводятся к их доставке, измельчению, если это необходимо, и внесению. В нашем случае они составили около 500 руб. на 1 га (в ценах 1989 г.). В то же время потеря в урожае из-за ощелачивания почвы на данном участке в денежном выражении составила от 2 до 6 тыс. рублей на 1 га [Клименко, Клименко, 1989]. Таким образом, экономический эффект от мелиорации ФГ, которая приводит к увеличению продуктивности *P. persica* на 1–2 т/га ежегодно, очевиден.

Таким образом, химическая мелиорация почв способствовала нейтрализации токсичных щелочных солей, увеличению содержания водорастворимого и обменного кальция, а также гипса в почве, как при поверхностном, так и при глубинном способе внесения мелиорантов. Отмечено положительное последействие мелиорации в течение трех лет. ЖК воздействовал на перечисленные свойства почвы более интенсивно, так как обладал большей растворимостью, чем ФГ. Последний медленнее растворялся и обладал более длительным последействием. Из сортов *P. persica* наиболее отзывчивыми к мелиорации оказались: из ранних — ‘Мэйфлауэр’ и ‘Пушистый Ранний’, из средне-поздних — ‘Маяковский’, ‘Советский’ и ‘Успех’.

РАЗДЕЛ 6
СЕВООБОРОТ СИДЕРАТОВ КАК СПОСОБ ОПТИМИЗАЦИИ САДОВОГО АГРОЦЕНОЗА

Агроценоз — это искусственно созданная и регулярно поддерживаемая человеком экосистема сельскохозяйственных ландшафтов (полей, искусственных пастбищ, огородов, виноградников, садов, лесных насаждений и т.п.). Она находится в непосредственной связи с естественными условиями среды — почвой, воздухом, почвенной и атмосферной влагой, почвенными микроорганизмами. Агроценозы создаются человеком для получения высоких урожаев, и поэтому их продуктивность выше биологической продуктивности природных биогеоценозов. Кроме того, при создании агроэкосистемы человек практически целиком меняет природную экосистему, что выражается, прежде всего, в ее упрощении. Создается монокультурный агроценоз, частным случаем которой является сад. В агроценозе происходит удаление чистой растительной продукции, которая не поступает в цепи питания биоценоза, а, следовательно, наблюдается разрыв круговорота веществ в данном биогеоценозе. В агроценозе нарушаются внутривидовые и межвидовые конкурентные связи, которые определяют устойчивость и самовоспроизводство системы. С экологических позиций упрощение природной среды весьма опасно [Кудасов, 1997, 1998, 1999; Попова, 2005]. Это приводит к резкому снижению адаптационных возможностей растений и их способности противостоять биотическим и абиотическим стрессам. В связи с этим для подавления вредителей и болезней используется много химических средств защиты, накопление которых приводит к загрязнению не только данной агроэкосистемы, но и окружающего ландшафта [Кирюшин, 1996; Жученко, 2004].

Кроме того, общепринятой системой содержания почвы в садах в районах с недостаточным атмосферным увлажнением (Крым, юг России) и дефицитом оросительных вод является черный пар, который способствует еще большему обеднению биоразнообразия агроценозе. Такое содержание почвы в сочетании с

многократными проходами тяжелой техники для обработки почвы и растений приводит к развитию эрозионных процессов, дегумификации, уплотнению почвы, ухудшению ее физических, физико-химических и химических свойств [Бутыло, Дончук, 1991; Козак, 1995; Копитко, 1999]. Для создания экологически устойчивого и высокопродуктивного агроценоза плодового сада необходимо переходить от интенсификации производства, которая требует больших энергетических затрат невосполнимых источников энергии, к использованию сил природы в том числе неисчерпаемых (воспроизводимых) природных ресурсов [Миркин, Хазиев, 1993; Жученко, 2000; 2004].

Важной задачей является обеспечение прихода и расхода органического вещества путем введение в агроценоз дополнительных элементов, например, многолетних трав или сидератов, оптимизации физической структуры, мобилизации труднодоступных элементов питания [Довбан, 1990; Кант, 1982, 1988, Попова, 2005]. Нами было изучено введение в садовый агрофитоценоз севооборота озимых сидератов и его влияние на свойства эдафотопа, а также рост и продуктивность фитоценоза *Malus domestica* [Клименко 2002, 2003, 2014; Клименко, Клименко, 2003].

6.1. Биомасса сидератов и ее минеральный состав

Обогащение садового агрофитоценоза посевом озимых сидератов является весомым биологическим фактором воспроизводства почвенного плодородия, увеличения разнообразия почвенной биоты, накопления влаги и элементов питания, общей устойчивости агроценоза. Степень положительного влияния этого приема зависит от биомассы зеленых трав и ее минерального состава.

Наши исследования показывают, что наибольшую биомассу накапливал озимый ячмень — от 1,6 до 12,5 т/га сухого вещества в зависимости от условий года (таблица 6.1). Наименьшая биомасса отмечалась у рапса. Отчасти это связано с поздним посевом этой культуры в саду.

Таблица 6.1 – Сухая масса сидератов (т/га)

Сидерат	Годы исследований					Сумма за 5 лет	Среднее на 1 га
	1993	1994	1995	1996	1997		
Ячмень	2,3±0,2	6,5±0,5	12,5±1,0	*	1,6±0,1	22,9	5,7
Горох	1,4±0,1	1,7±0,1	*	1,5±0,1	*	4,6	1,5
Рапс	*	*	1,0±0,1	0,6±0,06	0,2±0,01	1,8	0,6
Смесь вики с пшеницей	1,6±0,1	*	6,9±0,5	3,2±0,3	1,0±0,1	12,7	3,2
* Поле черного пара.							

Если рассматривать севооборот сидератов, то в целом за ротацию в почву поступало от 1,8 до 22,9 т/га сухой биомассы, что в среднем на севооборотную площадь составляло от 0,6 до 5,7 т/га в год. Следует отметить, что в опыте получены небольшие величины биомассы сидератов по сравнению с данными в полевых севооборотах [Юмашев, 2008; Макарова и др., 2008], где зеленая масса сидератов колебалась от 40 до 200 т/га. Однако при совместном выращивании сидератов с плодовыми деревьями возрастает конкуренция со стороны сидератов за потребление влаги и элементов минерального питания по мере увеличения их биомассы [Иванов и др., 1998]. Наиболее эффективной фитомассой смеси вики с тритикале в условиях дефицита поливной воды, способствующей максимальной прибавке урожая плодов *M. domestica*, А.С. Иванова [1996] считает величину порядка 3 т/га в сухом веществе.

Важным показателем качества сидеральных культур и их смесей является содержание в них элементов минерального питания. Установлено, что сидераты различались между собой по концентрации основных элементов питания в биомассе (таблица 6.2). Больше всего N было в биомассе гороха, смесь вики с пшеницей содержала 1,55% этого элемента на сухую массу, у рапса и ячменя оно было близким к единице. Сидераты содержали небольшое, и примерно одинаковое количество P_2O_5 в биомассе и только у гороха оно было более высоким. Больше всего K_2O содержалось в биомассе рапса и гороха, немного

меньше в ячмене и смеси вики с пшеницей, однако в биомассе всех сидератов содержание его было довольно высоким.

Таблица 6.2 – Содержание элементов питания в сухой массе сидератов и поступление их в почву с биомассой, среднее за 5 лет опыта

Сидерат	N		P_2O_5		K_2O	
	% на сухую массу	кг/га	% на сухую массу	кг/га	% на сухую массу	кг/га
Ячмень	1,09±0,11	18–136*	0,38±0,02	6–48	1,56±0,14	26–196
Горох	2,80±0,29	37–46	0,46±0,04	6–8	1,75±0,18	24–30
Смесь вики с пшеницей	1,55±0,17	15–101	0,34±0,03	4–24	1,60±0,15	16–122
Рапс	1,16±0,12	2–19	0,38±0,04	1–4	1,80±0,13	4–18
Среднее на 1га севооборота	-	14–60	-	3–17	-	14–72
* Крайние пределы изменения по годам в зависимости от биомассы сидерата.						

В пересчете на 1 га севооборотной площади в почву с биомассой сидератов поступало 14–60 кг/га N, 3–17 кг/га P_2O_5 и 14–72 кг/га K_2O ежегодно. Если учесть, что часть N, содержащаяся в биомассе бобовых растений, образовалась в результате азотфиксации, то применение бобовых сидератов и их смесей со злаковыми травами позволит снизить нормы применения азотных и калийных минеральных удобрений.

6.2. Влияние сидератов на режим влажности и запасы продуктивной влаги в эдафотопе

В условиях засушливого климата степного Крыма очень важно, чтобы растущие сидераты не вызывали значительного иссушения почвы и не конкурировали с плодовыми растениями за влагу. Проведенные исследования свидетельствуют о том, что полевая влажность в метровом слое почвы как в контроле, так и под сидератами была максимальной в апреле, что связано с

накопление влаги в осенне-зимний период (рисунок 6.1). В этот период наибольшее количество влаги в почве на контроле и под сидератами накапливалось на глубине 20–60 см и достигало 26–27 % от массы почвы.

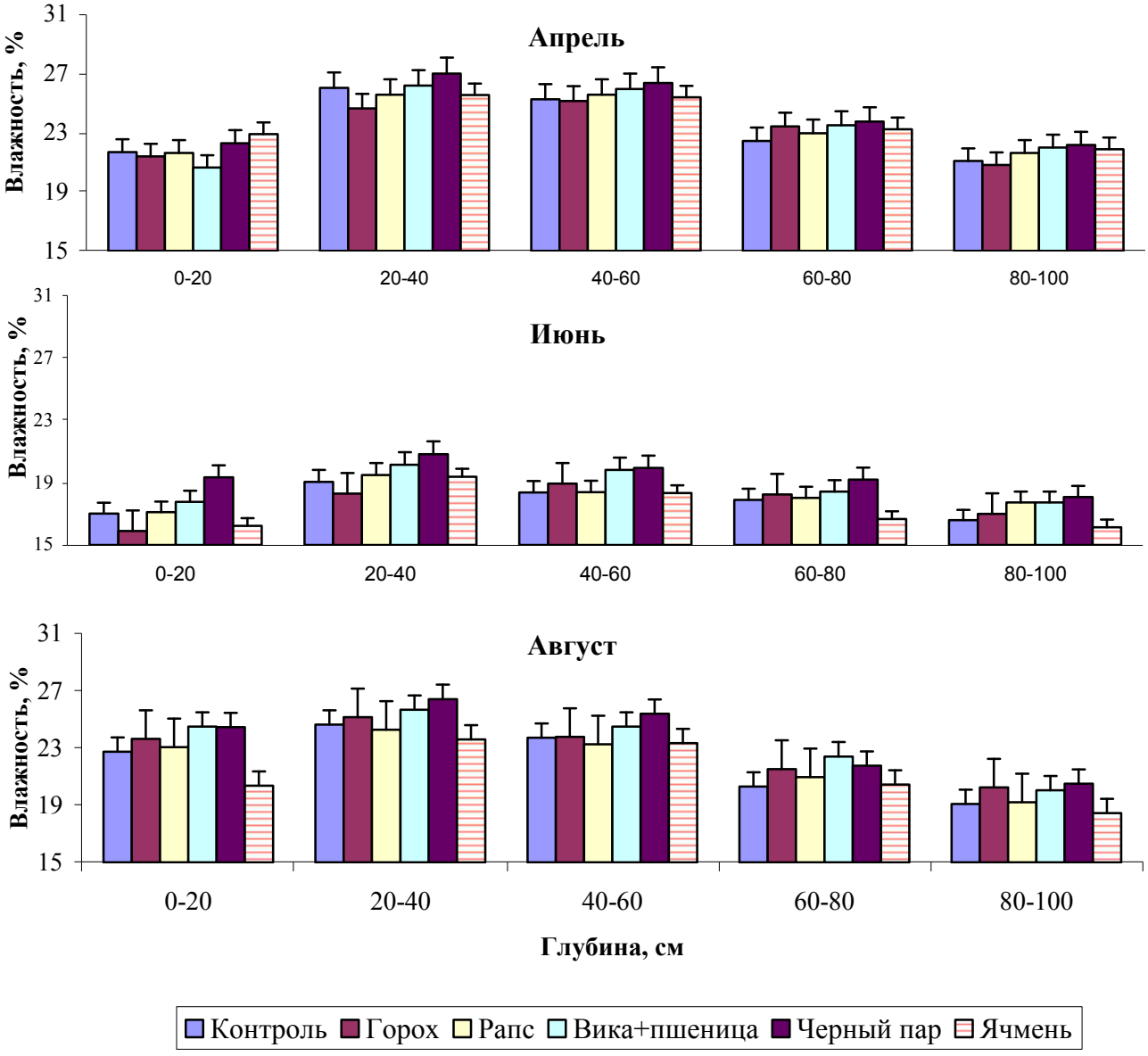

Рисунок 6.1. Влияние сидератов на динамику полевой влажности почвы в садовом агроценозе, среднее за 5 лет

Под черным паром по смеси вики с пшеницей содержание влаги превышало контроль во всей метровой толще почвы на 0,60–1,31% от массы почвы в зависимости от слоя. Под растущими сидератами влага накапливалась в основном

в слое 40–100 см на 0,12–1,05%. Это увеличение было небольшим и составило всего 0,5–6,0% от полевой влажности.

В июне полевая влажность в контроле снижалась по сравнению с апрелем до 17–19% от массы почвы. Наиболее значительно почва иссушалась в слое 0–20 см за счет испарения и в слое 80–100 см, вероятно, из-за более значительного потребления влаги корневой системой *M. domestica*. При запахивании биомассы гороха и ячменя, влажность почвы в слое 0–20 см была ниже, чем в контроле. Под другими сидератами в этом и более глубоких слоях почвы произошло накопление влаги по сравнению с контролем. Наиболее значительным оно было при запахивании смеси вики с пшеницей и на черном пару по этой смеси на 1,7–2,3% от массы почвы или 9,0–13,6% от контроля. Наибольшее относительное накопление влаги под смесью трав отмечено в слое 0–20 см за счет создания травянистыми растениями мульчирующего слоя на поверхности почвы.

В августе, несмотря на то, что часть биомассы сидератов уже разложилась, они также способствовали сохранению влаги в почве. На всех вариантах, кроме озимого ячменя, влаги было больше, чем в контроле по всей 100 см толще почвы, причем с глубиной различия между вариантами сглаживались.

Таким образом, все исследуемые сидераты разделились на две группы по воздействию на содержание влаги в слое 0–60 см. Горох и ячмень способствовали некоторому иссушению почвы во время их роста и после запахивания в июне. В августе только на варианте с озимым ячменем наблюдалось снижение влажности по сравнению с контролем. Остальные сидераты и черный пар по смеси вики с пшеницей способствовали сохранению и накоплению влаги в почве во все сроки наблюдений .

Режимные наблюдения запасов влаги в эдафотопе показали, что как в контроле, так и по вариантам опыта запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы были наиболее значительными в апреле за счет пополнения их осенне-зимними осадками и достигали 130–150 мм (рисунок 6.2). По шкале, приведенной А.Ф. Вадюниной и З.А. Корчагиной [1986], они оценивались как хорошие. Под растущими сидератами в этот период запас продуктивной влаги в почве был либо

близок к контрольному (горох), либо увеличивался на 9–21 мм (под другими сидератами) за счет формирования дополнительного запаса влаги под ними зимой благодаря снегозадержанию и весной вследствие предохранения почвы от испарения. Наибольший запас влаги накапливался на черном пару по смеси вики с пшеницей и был выше контрольного на 16%. В этот период запас продуктивной влаги не зависел от количества осадков, выпавших в апреле, а определялся запасами влаги, накопленными в осенне-зимний период.

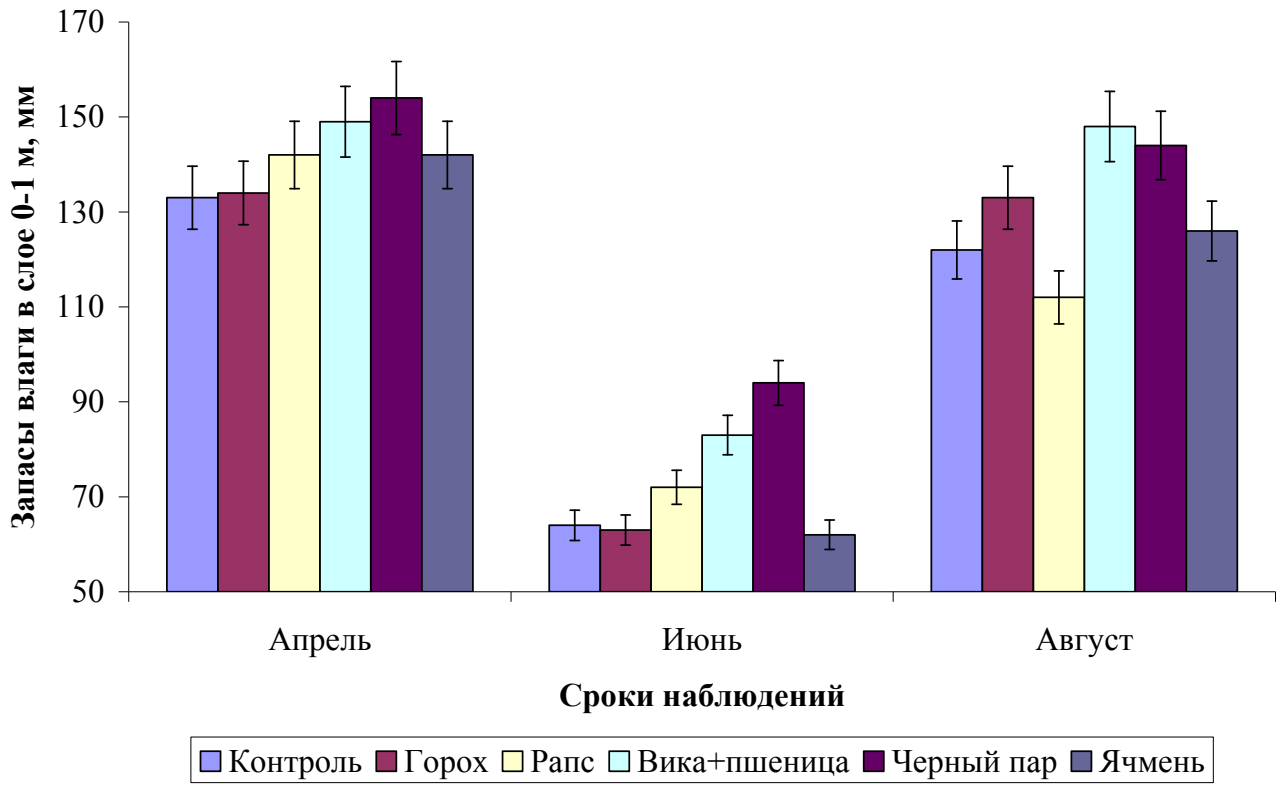

Рисунок 6.2. Запасы продуктивной влаги в слое почвы 0–1 м садового агроценоза *M. domestica* по срокам наблюдений, среднее за 5 лет

В июне запасы продуктивной в почве контроля сокращались почти вдвое по сравнению с апрелем вследствие испарения и транспирации деревьев *M. domestica*, составляли 64 мм и оценивались как плохие. После запахивания сидератов накопленная ими влага с зеленой массой попадала в почву. Запас влаги в почве под сидератами, следовательно, увеличивался по сравнению с контролем на 3–27 мм в зависимости от запаханной биомассы сидератов. Существенно

обогащала почву влагой смесь вики с пшеницей (19 мм) и черный пар по этой смеси (30 мм) в среднем за пять лет опыта. В процентном отношении к контролю это увеличение было наиболее значительным при малом запасе влаги в почве в этот период и составило 30 и 47% (относительно контроля) соответственно по сравнению с 12 и 16% в апреле. В это время только на вариантах с малой биомассой (черный пар по смеси вики с пшеницей и рапс по гороху) запас продуктивной влаги зависел от количества осадков, коэффициенты корреляции равны 0,81 и 0,91 соответственно (n = 5).

В августе запасы влаги в почве опять увеличивались за счет орошения и увеличения суммы осадков, и были несколько ниже весенних. По годам наблюдались значительные их колебания в почве в этот период. Это зависело от суммы осадков, выпавших в августе (r = 0,94–0,98).

В вариантах с сидератами в августе запасы влаги в метровом слое почвы были также выше контрольных (кроме варианта с рапсом), особенно значительным и достоверным это превышение было в варианте со смесью вики с пшеницей и составило 24 мм или 21% от контроля.

Таким образом, применение сидератов в междурядиях сада приводило к сохранению и накоплению влаги в почве, как во время роста, так и после их запахивания, особенно значительному в июне, когда запас продуктивной влаги в эдафотопе был минимальным. Наиболее существенно его увеличивали смесь бобовых и злаковых растений и черный пар по этой смеси. В апреле запас влаги в почве зависел также от количества накопленной влаги в осенне-зимний период, а в августе от количества выпавших в этот период атмосферных осадков.

6.3. Динамика подвижных форм элементов питания и их запасы в почве садового агроценоза при использовании сидератов

Мониторинг садового агрофитоценоза *M. domestica* включал также наблюдения за содержанием подвижных форм элементов питания в эдафотопе,

как одного из лимитирующих факторов функционирования садового биогеоценоза.

Исследования показывают, что содержание нитратного азота ($N–NO_3$) и подвижных форм фосфора (P_2O_5) в почве контрольного варианта во все сроки наблюдений было незначительным. В апреле в слое 0–60 см оно составляло 4–5 мг/кг почвы. К августу содержание $N–NO_3$ в почве возросло почти вдвое и составило 8,9 мг/кг в слое 0–20 см. Это связано с усилением микробиологической активности почвы, ассоциативной азотфиксации, нитрификационных процессов при увеличении температуры и достаточной влажности почвы в этот период [Емцев, 2006].

Сидераты в период их интенсивного роста по-разному изменяли содержание $N–NO_3$ в почве. В слое 0–20 см происходило его увеличение под всеми сидеральными культурами на 5–50% от контроля, особенно значительное под горохом и на черном пару по смеси вики с пшеницей (рисунок 6.3, таблица В. 1). Под горохом и рапсом по гороху это увеличение отмечено до глубины 60 см.

В июне содержание $N–NO_3$ в почве под сидератами увеличивалось по сравнению с контролем более интенсивно, чем в апреле вследствие микробиологической активности. Особенно значительное увеличение отмечено в слое 20–40 см, так как верхний 20-ти см слой значительно пересыхал и перегревался. При запахивании гороха и смеси вики с пшеницей произошло наибольшее обогащение почвы $N–NO_3$ за счет симбиотической азотфиксации бобовых растений. Увеличение содержания этого элемента отмечено также на черном пару по смеси вики с пшеницей вследствие эффекта последействия.

В августе абсолютное содержание $N–NO_3$ в почве повысилось по сравнению с его содержанием в апреле и июне, как в контроле, так и под сидератами на 4–12 мг/кг, особенно значительно по черному пару по смеси вики с пшеницей за счет усиления нитрификационных процессов в почве под черным паром.

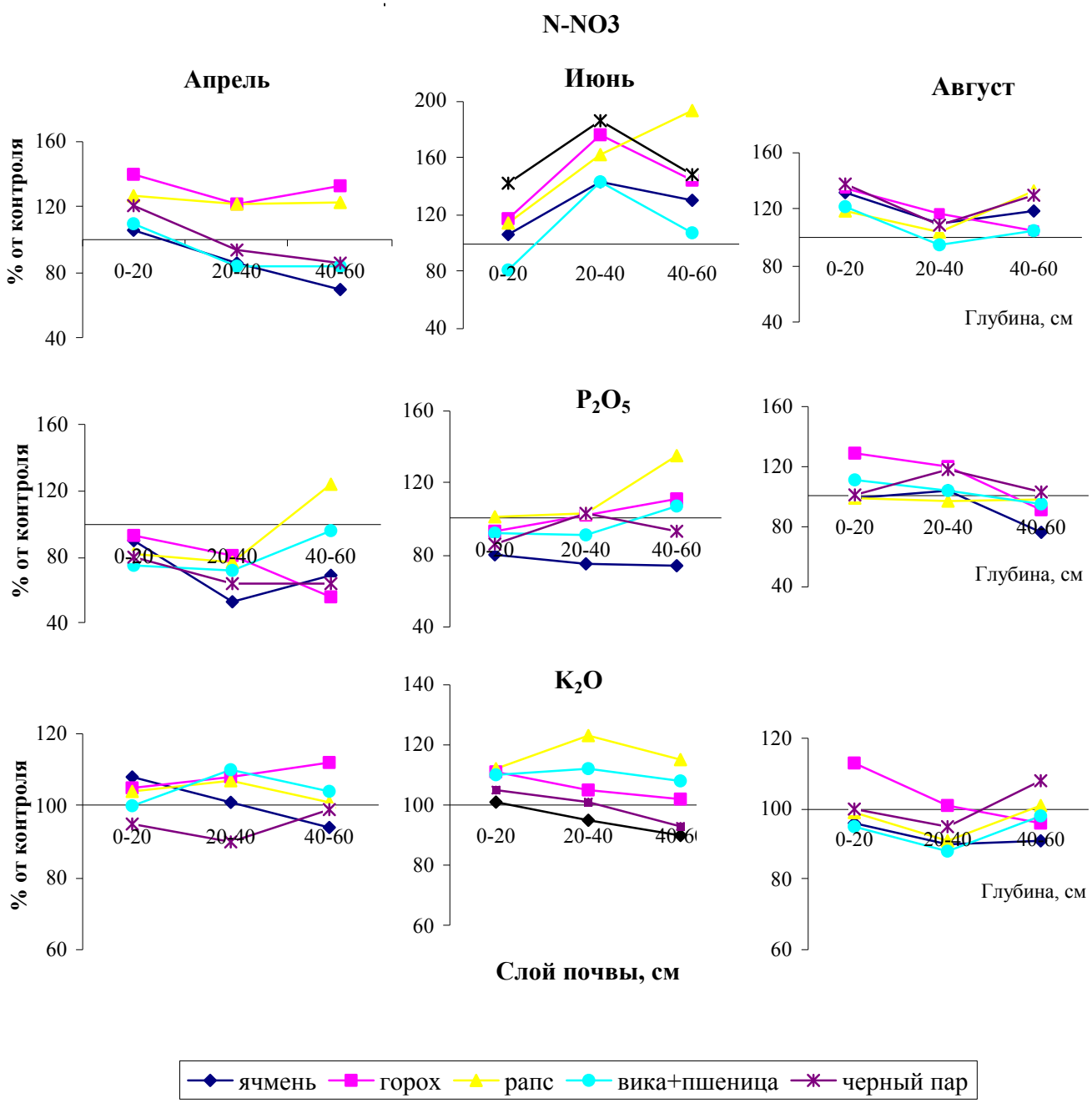

Рисунок 6.3. Динамика содержания $N–NO_3$, подвижных форм P_2O_5 и K_2O в 60-ти см слое почвы (% от контроля) при выращивании сидератов в садовом агроценозе *M. domestica* на черноземе южном, среднее за 5 лет

Содержание подвижной P_2O_5 в почве контрольного варианта колебалось от низкого в апреле (9,7–17,4 мг/кг) до низкого и среднего уровней в июне и августе (10,6–21,6 мг/кг) в слое 0–40 см. В период интенсивного роста (апрель) все сидераты снижали ее, расходуя на создание биомассы (рисунок 6.3). В июне

абсолютное количество P_2O_5 увеличилось лишь под рапсом по гороху и достигло среднего уровня обеспеченности в слое 0–40 см за счет большей оводненности рапса и более быстрого его разложения [Чупрова, Евсеева, 1990; Шикула, Назаренко, 1990]. Содержание подвижной P_2O_5 в остальных вариантах опыта было выше, чем в апреле, но на 10–25% ниже, чем в контроле, вероятно, за счет дополнительного потребления фосфатов микроорганизмами, разлагающими клетчатку поступивших сидератов [Иванов и др., 1998].

Наиболее значительно фосфаты расходовались при использовании ячменя как сидеральной культуры. Это говорит о необходимости внесения небольших доз фосфора в почву при посеве злаковых трав.

В августе содержание подвижной P_2O_5 в почве на контроле было близким к июньскому и составляло 6,6–19,6 мг/кг в зависимости от глубины. Применение гороха, смеси вики с пшеницей и черного пара по этой смеси способствовало увеличению содержания подвижных фосфатов на 4–29% относительно контроля в слое 0–40 см, и было максимальным при запахивании гороха (12,7–25,3 мг/кг в слое 0–40 см). При разложении рапса и ячменя оно было близким к контрольному.

Содержание обменного K_2O в почве контрольного варианта в апреле было высоким (214–347 мг/кг) и незначительно возрастало к августу (223–382 мг/кг). Все растущие сидераты обогащали почву обменным калием, возможно, за счет выделений корней, переводящих трудногидролизуемые формы калия в подвижные. В июне отмечено некоторое относительное накопление обменного калия при запахивании гороха, рапса и вики с пшеницей на 8–23%. В августе под всеми сидератами произошло некоторое снижение его содержания по сравнению с контролем, вероятно, за счет дополнительного поглощения калия созревающими плодами *M. domestica*. Однако содержание его оставалось на уровне оптимального.

Если рассматривать воздействие севооборота сидератов на запасы подвижных элементов питания в 60-ти см слое почвы, то в целом сидераты способствовали постепенному накоплению $N–NO_3$ относительно контроля во все

периоды наблюдений, хотя и со значительным варьированием по годам (рисунок 6.4). В последние два года опыта в июне он был выше контрольного в 3,5 раза. Следует отметить, что содержание этого элемента зависело не только от возделываемой культуры, но от влажности и температуры почвы. В 1996 и 1997 годах складывались наиболее благоприятные условия для нитрификации на протяжении всего периода вегетации (рисунок В. 2), поэтому запасы $N–NO_3$ в почве были высокими в эти годы.

Севооборот сидератов незначительно изменял запас подвижных форм фосфора в почве. К концу ротации в апреле сидераты обедняли почву фосфором на 20–30% по сравнению с контролем. В период разложения сидератов летом они восстанавливали этот запас до контрольного.

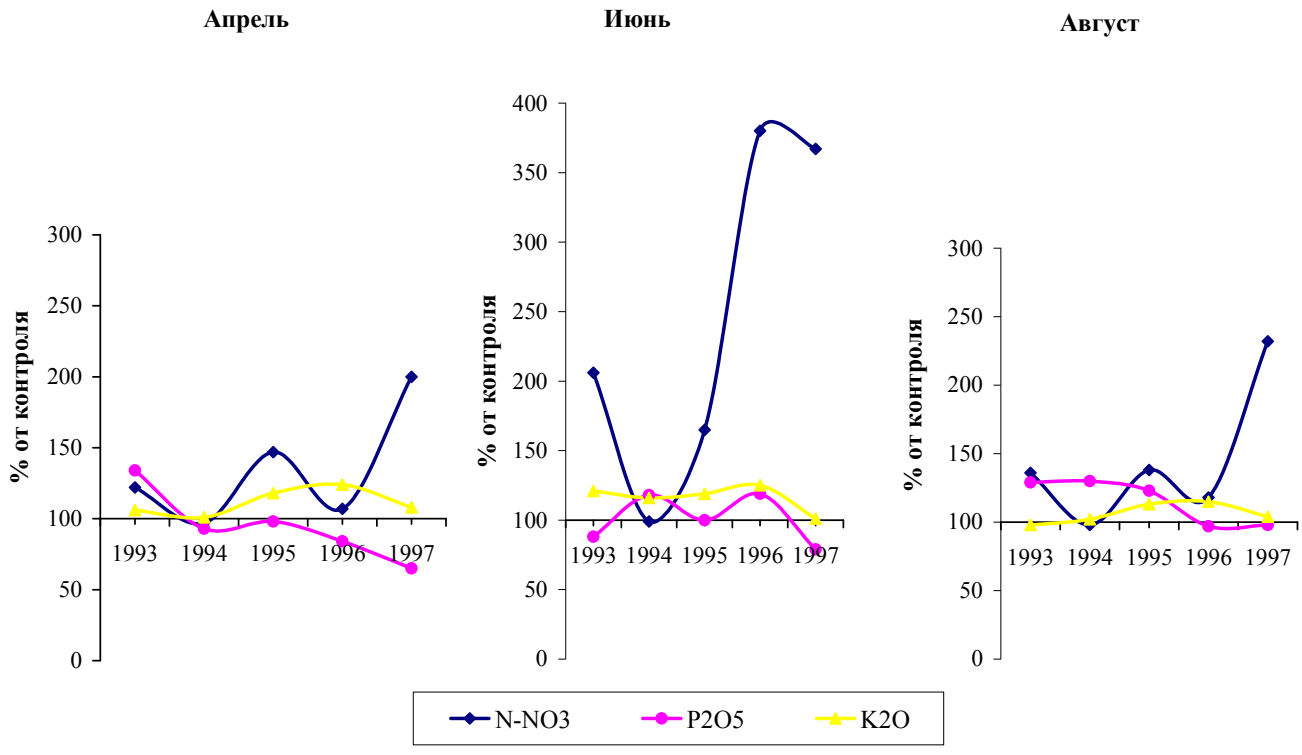

Рисунок 6.4. Запасы подвижных форм $N–NO_3$, P_2O_5 и K_2O в 60-ти см слое почвы под севооборотом сидератов по годам исследований в садовом агроценозе (1993–1997 гг.)

Применение севооборота сидератов стабильно увеличивало запас обменного K_2O в почве. К концу ротации он заметно увеличивался в апреле на 18–24% от контроля. К августу, в период созревания плодов *M. domestica*, он приближался к контрольному.

Расчеты показывают, что в среднем на 1 га севооборотной площади в почву попадало с биомассой сидератов 29 кг/га $N–NO_3$; 8 кг/га P_2O_5 и 34 кг/га K_2O. Если учесть, что в среднем коэффициенты минерализации трав составляют 50%, то сидераты ежегодно пополняли запас подвижных питательных веществ, способствующий прибавке урожая плодов. Однако это пополнение, особенно фосфора, недостаточно, чтобы сформировать значительную биомассу сидератов на следующий год, которая в дальнейшем, при разложении, могла бы способствовать формированию большей прибавки урожая плодов *M. domestica*.

Таким образом, севооборот сидератов способствовал накоплению $N–NO_3$ и K_2O в почве. При этом отмечено некоторое обеднение почвы подвижной P_2O_5 в начале вегетации растений *M. domestica* и сидератов. Расчеты баланса элементов минерального питания в почве после очередной ротации севооборота сидератов показывают это количественно (таблица 6.3). Данные таблицы 6.3. свидетельствуют о том, что при выращивании сидератов необходимо вносить стартовую дозу фосфорных удобрений для разложения биомассы запаханных сидератов, которая составляет 113 кг/га суперфосфата ежегодно с посевом семян сидератов осенью с учетом реальной продуктивности яблони и биомассы сидератов.

Увеличение продуктивности яблони при выращивании сидератов в среднем по всем сортам и годам составило 1,2 т/га. В основном оно получено за счет пополнения запаса элементов питания при минерализации биомассы сидератов и влаги, накопленной ими.

Таблица 6.3 – Баланс элементов питания в эдафотопе агроценоза *M. domestica* при введении севооборота сидератов и расчеты потребности в удобрениях, среднее за 5 лет

Показатель	Контроль			Сидераты		
Урожай *M. domestica* поздних сортов, т/га	10,1			11,9		
Биомасса сидератов, т (сухой массы в среднем на 1 га севооборотной площади)	0			2,1		
Приблизительный вынос с урожаем *M. domestica*, кг	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
	51	30	61	57	34	68
Вынос элементов для обеспечения прибавки урожая, кг	0	0	0	6	4	7
Приход с биомассой сидератов, кг	0	0	0	29	8	34
Запасы элементов в 60-ти см слое почвы, кг	В период роста сидератов (апрель)					
	33	68	186	39	59	206
	После запахивания сидератов (июнь)					
	29	81	196	45	81	225
	Через два месяца после запахивания сидератов (август)					
	49	81	208	63	91	219
Показатель	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Баланс запасов элементов при выращивании и разложении сидератов, кг	Апрель					
	0	0	0	6	–9	20
	Июнь					
	0	0	0	16	0	29
	Август					
	0	0	0	14	10	9
Следует увеличить за счет внесения минеральных удобрений, кг	-			0	9	0
Использование из минеральных удобрений, %	-			-	40	-
Содержание в суперфосфате, %	-			-	20	-
Рассчитанная по выносу доза суперфосфата, кг/га	-			-	113	-

6.4. Воздействие сидератов на агрофизические свойства и гумусовое состояние эдафотопа

Агротехнические приемы, применяемые в садовых экосистемах, должны быть направлены, прежде всего, на поддержание в эдафотопе определенных физических условий, необходимых для оптимального функционирования садового агроценоза, устойчивой продуктивности и высокого качества плодов при сохранении почвенного плодородия. В настоящее время установлено, что

плотность сложения почвы может служить универсальным показателем физического состояния почвы [Иванов, 1998; Козак. 1998].

Нами изучены основные физические свойства чернозема южного и их изменения при применении севооборота сидератов.

Плотность сложения пахотного слоя почвы в контроле была невысокой и находилась в пределах оптимальной для *M. domestica* [Иванов и др., 1998], рисунок 6.5. На глубине 20–40 см почва уплотнялась из-за образования подплужной «подошвы» и ниже по профилю ее значения увеличивались до 1,42 г/см^3 в слое 80–100 см.

При выращивании сидератов произошло существенное снижение плотности сложения почвы в слое 0–20 см вследствие разрыхления почвы корнями сидеральных культур. В слое 20–100 см наметилась тенденция к снижению плотности сложения почвы под сидератами. Снижение плотности гумусового горизонта чернозема южного при использовании сидератов создает условия для лучшей аэрации почвы и роста корней *M. domestica*.

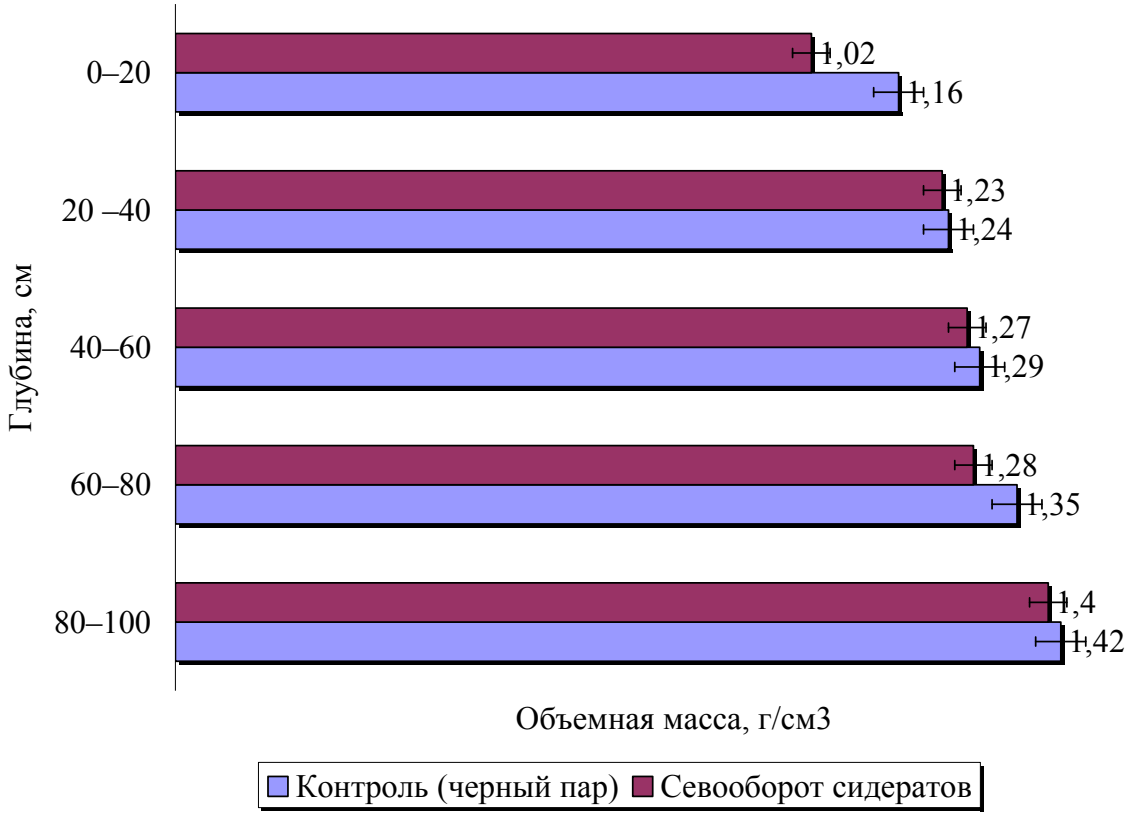

Рисунок 6.5. Влияние севооборота сидератов на плотность сложения почвы (г/см^3), 1999 г.

Структурное состояние почвы является одним из наиболее быстро изменяющихся свойств. Обеднение почвы органическим веществом, многократные проходы тяжелой техники приводят к разрушению структуры, потере ею водопрочности, созданию подплужной «подошвы». Данные структурного анализа почвы, приведенные в таблицах 6.4 и В. 3, показывают изменения показателей структуры почвы, произошедшие в результате применения пятипольного севооборота сидератов в междурядиях плодоносящего сада *M. domestica*.

Установлено, что количество агрономически ценных агрегатов в слое 0–20 см было невысоким в контроле. В слое 20–40 см оно было еще более низким вследствие уплотнения и образования глыб (69,5%). Ниже по профилю (слой 40–60 см) число агрономически ценных агрегатов было самым высоким.

Таблица 6.4 – Структурное состояние почвы при паро-сидеральной системе содержания междурядий сада *M. domestica*

Вариант	Глубина, см	Сухое просеивание, содержание агрегатов, %, размер (мм]			Коэффициент структурности	Мокрое просеивание	
		> 10	10 – 0,25	< 0,25		водоустойчивых агрегатов, %	критерий водопрочности по АФИ
Контроль	0–20	59,8	36,8	2,5	0,59	48,1	504
	20–40	69,5	28,0	2,7	0,39	55,7	808
	40–60	51,6	46,5	2,0	0,87	78,6	810
Сидераты	0–20	48,1	48,8*	3,3	0,95	53,8*	509
	20–40	64,8	31,2*	2,4	0,46	66,0	956
	40–60	39,9*	57,1*	2,6	1,34	86,6*	966
* Разница с контролем существенна, $p \leq 0,05$.							

После очередной ротации севооборота сидератов структурное состояние чернозема южного улучшилось. Количество агрономически ценных агрегатов существенно возросло по всему 60-ти см слою почвы по сравнению с контролем. Количество глыб снизилось по всей 60-ти см толще, существенно и достоверно в слое 40–60 см, куда также распространилось влияние трав. Все это обусловило

увеличение коэффициента структурности в 2,0 и 1,5 раза в слое 0–20 и 40–60 см соответственно по сравнению с контролем.

Использование сидератов привело к увеличению водопрочности структуры чернозема южного в слоях 0–20 и 40–60 см. Здесь отмечено достоверное увеличение количества водостойких агрегатов и, соответственно, критерия водопрочности, причем его значение возрастало с глубиной (таблица 6.4). При этом количество водопрочных пылеватых частиц размером менее 0,25 мм при сидерации снизилось вследствие связывания их в агрегаты по всему 60-ти см слою (таблица В. 3), а в слое 20–40 см их стало почти вдвое меньше (29,1%) по сравнению с тем же слоем контрольной почвы (40,9%), разница существенна на 5 % уровне значимости.

Таким образом, применение севооборота озимых сидератов в междурядиях агроценоза *M. domestica* способствовало улучшению структурного состояния почвы в слое 0–60 см. При этом увеличилось содержание агрономически ценных агрегатов, снизилось количество глыб и возросла водостойкость структурных отдельностей.

Гумусовое состояние почвы. Важными интегральными показателями плодородия и стабилизации функционирования агроценоза является содержание гумуса и его запасы. Гумус улучшает водно-воздушные, физико-химические, биологические и другие свойства почвы [Минеев, 2008]. В связи с этим важно проследить влияние сидеральных культур на содержание, динамику во времени и запасы гумуса в почве.

Содержание гумуса в почве перед закладкой сада (1980 г.) было невысоким из-за двадцатилетнего использования почвы под бессменным садовым агроценозом (таблица 6.5). На глубине 40–60 см содержание гумуса было еще достаточно высоким вследствие плантажной вспашки. Ниже этого слоя количество его резко снижалось до 1,63%. Данные 1994 г. показывают, что за 14 лет существования садового агроценоза с содержанием междурядий под черным паром количество гумуса в контроле снизилось на 2–7 относительных процентов в слое 0–60 см. Особенно значительным это снижение было в слое 60–80 см, где

его количество составило 73% от содержания в 1980 г. Следовательно, выращивание сидератов в междурядиях сада приостановило процесс минерализации гумуса в почве за счет запахивания в почву ежегодно 1–5 тонн сухой биомассы трав на 1 га. При этом содержание гумуса после очередной ротации севооборота сидератов было выше, чем в контроле на 0,03–0,36 % в зависимости от слоя почвы.

Таблица 6.5 – Содержание и запасы гумуса в черноземе южном при паро-сидеральной системе содержания междурядий садового агроценоза *M. domestica*, n = 4

Вариант	Слой почвы, см	1980 г. (перед закладкой опыта)*		1994 г.		Сальдо + – т/га
		%	т/га	%	т/га	
Контроль (черный пар)	0–20	2,74	56,4	2,55±0,06	52,5	–3,9
	20–40	2,44	55,1	2,40±0,04	54,2	–0,9
	40–60	2,51	64,8	2,33±0,01	60,1	–4,7
	60–80	1,63	44,3	1,20±0,01	32,6	–11,7
	0–80	-	220,6	-	199,4	–21,2
Сидераты	0–20	2,79	67,0	2,61±0,11	60,6	–6,4
	20–40	2,66	66,5	2,76±0,03**	69,6	+3,1
	40–60	2,34	60,8	2,36±0,11	64,7	+3,9
	60–80	1,47	41,2	1,38±0,14	39,2	–2,0
	0–80	-	235,5	-	234,1	–1,4
* Данные А.С. Ивановой [1990]; ** разница с контролем в слое 20−40 см существенна, $p \leq 0,05$.						

Запас гумуса в 80-ти см слое почвы перед закладкой сада в контроле составил 220,6 т/га, что характерно для данной почвы. За 14 лет опыта он сократился в контроле на 21,2 т/га, что составило более 1,5 т/га в год. Наиболее интенсивно это обеднение протекало в слое глубже 60 см.

Запас гумуса в почве под сидератами в начале опыта был несколько выше, чем в контроле. Через 14 лет он оставался практически на том же уровне, причем накопление гумуса отмечено в слое 20–60 см на 7 т/га по сравнению с исходным.

В итоге запас гумуса в почве при выращивании сидератов стал выше контрольного на 34,7 т/га.

Качественный состав гумуса также претерпел изменения при выращивании сидератов. В почве контрольного варианта содержание гуминовых кислот было максимальным в слое 0–20 см, ниже по профилю оно снижалось (таблица 6.6).

Таблица 6.6 – Влияние выращивания сидеральных культур в междурядиях агроценоза *M. domestica* на содержание гумусовых веществ почвы

Вариант	Глубина, см	Гуминовые кислоты, %	Фульво-кислоты, %	Сг.к. / Сф.к.	Свободные гумусовые вещества, %
Контроль	0–20	17,0 ± 2,9	7,9 ± 0,8	2,15	0,018 ± 0,001
	20–40	14,8 ± 2,0	11,1 ± 1,2	1,34	0,023 ± 0,001
	40–60	15,9 ± 4,0	12,8 ± 2,3	1,24	0,011 ± 0,001
Сидераты	0–20	13,1 ± 0,9*	10,3 ± 1,7	1,27*	0,025 ± 0,003*
	20–40	12,8 ± 0,1	11,2 ± 3,4	1,14	0,020 ± 0,001
	40–60	12,4 ± 0,1	10,8 ± 4,1	1,15	0,015 ± 0,002
* Разница с контролем соответствующего слоя существенна, $p \leq 0,05$.					

Содержание фульвокислот, наоборот, было минимальным в верхнем 20-ти см слое почвы и постепенно увеличивалось с глубиной.

При сидерации в составе гумуса произошло уменьшение доли гуминовых кислот в слое 0–60 см, достоверное в верхнем 20-ти см слое. В то же время в составе гумуса увеличилось доля фульвокислот в этом слое. Это согласуется с данными Н.В. Козака [1995, 1998], который изучал влияние задернения почв многолетними злаковыми травами в междурядиях сада. Соотношение между этими группами веществ стало более узким по всему гумусовому горизонту, а в слое 0–20 см гуматный тип гумуса в контроле сменился фульватно-гуматным под воздействием сидератов.

Содержание свободных гумусовых веществ в контроле было невысоким, что характерно для черноземов, где благодаря большому количеству оснований, большая часть гумусовых кислот находится в связанном состоянии. Максимальное содержание этих веществ в контроле обнаружено в слое 20–40 см.

При длительном содержании почвы под севооборотом сидератов содержание свободных гуминовых веществ увеличилось достоверно в слое 0–20 см за счет максимального поступления свежего органического вещества в этот слой при гумификации корневого опада сидеральных культур [Иутинская и др., 1994]. С глубиной содержание этих веществ снижалось, но в слое 40–60 см было несколько выше, чем в контроле.

Таким образом, применение биологической системы содержания междурядий препятствовало дегумификации почвы за счет поступления дополнительного количества свежего органического вещества. Качественный состав гумуса также менялся. При длительной сидерации в составе гумусовых кислот возрастала доля фульвокислот и в слое 0–20 см гуматный тип гумуса сменился на фульватно-гуматный. При этом возросло содержание свободных гуминовых веществ.

6.5. Рост и продуктивность растений *M. domestica* при сидеральной системе содержания междурядий садового агроценоза

Влияние севооборота сидератов на рост *M. domestica* оценивали по величине окружности штамба (ОШ), которая хорошо коррелирует с биомассой и продуктивностью, отражает влияние экологических условий и антропогенного влияния за весь период жизни дерева [Аспекты…, 1995]. Установлено, что в начале очередной ротации севооборота сидератов (1993 г.) ОШ деревьев при сидерации у большинства изученных сортов *M. domestica* имела тенденцию к увеличению (таблица 6.7). У сорта ‘Ренет Симиренко’ это увеличение было наиболее существенным и достоверным по сравнению с контролем. Все это говорит о том, что посев озимых сидератов до очередной ротации севооборота благоприятно сказывался на росте большинства сортов *M. domestica* и не приводил к их угнетению. В последние шесть лет опыта, когда не проводился полный комплекс агротехнических мероприятий, не хватало удобрений и

оросительной воды, воздействие сидератов на рост *M. domestica* было несколько другим.

Таблица 6.7 – Окружность штамба (ОШ, см) *M. domestica* при паро-сидеральной системе содержания междурядий сада, n = 21

Сорт	Вариант	1993 г.		1999 г.	
		ОШ	Разница с контролем	ОШ, см	Разница с контролем
‘Аврора Крымская’	контроль	28,8		35,6	
	сидераты	29,2	+0,4	34,2	–1,4
‘Крымское Зимнее’	контроль	28,1		33,6	
	сидераты	28,6	+0,5	34,6	+1,0
‘Голден Делишес’	контроль	26,5		31,3	
	сидераты	25,8	–0,7	30,4	–0,9
‘Ренет Симиренко’	контроль	21,5		25,6	
	сидераты	23,6*	+2,1	25,7	+0,1
‘Кинг Дэвид’	контроль	27,4		34,5	
	сидераты	27,7	+0,3	32,5*	–2,0
* Разница с контролем соответствующего сорта существенна, $p \leq 0,05$.					

По данным 1999 г. для сорта ‘Крымское Зимнее’ отмечено положительное влияние сидератов на рост дерева. У ‘Ренета Симиренко’ величина ОШ была почти такой же, как в контроле. У сортов ‘Аврора Крымская’, ‘Голден Делишес’ и ‘Кинг Дэвид’ при сидерации она снижалась по сравнению с контролем, у последнего сорта достоверно. Это говорит о большей требовательности этих сортов к условиям агротехники и некоторой конкуренции за влагу и элементы питания между сидератами и плодовым растением.

Таким образом, введение сидеральных культур в садовый агроценоз не влияло отрицательно на рост и состояние некоторых сортов *M. domestica*, и угнетало рост других, наиболее требовательных к условиям произрастания сортов. В связи с этим, при введении сидерации необходимо выполнение полного комплекса агротехнических приемов для создания оптимального режима влаги и элементов питания в почве.

Продуктивность в агропроизводстве является результирующим показателем состояния растений и действия применяемого агротехнического приема. Важно, чтобы при использовании биологических приемов выращивания *M. domestica*, она оставалась устойчивой с высоким качеством плодов [Кашин, 1995; Дорошенко и др., 2005].

Анализ данных продуктивности *M. domestica* за ротацию севооборота сидератов показал, что в среднем за пять лет полного плодоношения в контроле она составляла 10,1 т/га (таблица 6.8). Из сидеральных культур наибольшее положительное влияние на этот показатель оказала смесь вики с пшеницей и черный пар по этой смеси. При выращивании смеси вики с пшеницей отмечена достоверная прибавка продуктивности *M. domestica* в среднем по всем сортам по сравнению с контролем на 6,9 т/га, по черному пару по этой смеси прибавка составила 1,2 т/га.

Применение гороха и рапса также способствовало увеличению урожая *M. domestica*, озимого ячменя — незначительному его снижению.

Сорта вследствие разных потребностей в экологических ресурсах, по-разному реагировали на выращивание сидератов. У большинства из них отмечалось увеличение продуктивности по сравнению с контролем на 1,7–3,1 т/га, в среднем по всем сортам оно составило 1,8 т/га. Это увеличение было примерно одинаковым у сортов ‘Аврора Крымская’ и ‘Крымское Зимнее’, наибольшим — у ‘Голден Делишес’ и ‘Ренет Симиренко’. У сорта ‘Кинг Дэвид’ отмечено уменьшение урожая плодов при выращивании всех сидератов кроме смеси вики с пшеницей, поэтому в целом за ротацию его средняя продуктивность уменьшилась на 0,7 т/га по сравнению с контролем. При выращивании в междурядиях этого сорта смеси вики с пшеницей в севообороте урожай увеличивался на 4,2 т/га. Следовательно, для этого сорта более благоприятным будет применение смеси бобовых и злаковых трав как сидератов в чередовании с черным паром через год через междурядие [Иванов и др., 1998]. Смесь вики с пшеницей оказала заметное последействие по черном пару. На этом варианте в среднем по всем сортам прибавка урожая *M. domestica* составила 1,2 т/га.

Таблица 6.8 – Продуктивность *M. domestica* на черноземе южном при паро-сидеральной системе содержания междурядий сада, среднее за 5 лет, т/га

Вариант	‘Аврора Крымская’	‘Крымское Зимнее’	‘Голден Делишес’	‘Ренет Симиренко’	‘Кинг Дэвид’	Среднее по сидератам $НСР_{05} = 4,6$ т/га	Разница с контролем
Контроль (бессменный черный пар)	8,8	7,6	12,2	9,4	12,5	10,1	–
Ячмень по черному пару	7,2	7,0	14,0	9,5	10,8	9,7	–0,4
Горох по ячменю	8,7	10,8	13,8	11,3	9,7	10,9	+0,8
Рапс по гороху	6,5	11,5	10,4	12,7	11,3	10,5	+0,4
Смесь вики с пшеницей по рапсу	15,3	7,9	24,1	21,0	16,7	**17,0**	**+6,9**
Черный пар по смеси вики с пшеницей	15,9	9,5	14,3	6,3	10,6	11,3	+1,2
Среднее по сортам $F_ф < F_{05}$	10,4	9,1	14,8	11,7	11,9	11,6	–
Среднее по севообороту сидератов	10,7	9,3	15,3	12,2	11,8	11,9	–
Разница с контролем	+1,9	+1,7	+3,1	+2,8	-0,7	+1,8	–

У сортов ‘Крымское Зимнее’, ‘Голден Делишес’ и ‘Аврора Крымская’ на этом варианте отмечено повышение урожая плодов в среднем за пять лет на 1,9, 2,1 и 7,1 т/га соответственно. Это связано с постепенным разложением значительной биомассы злаково-бобовой смеси на протяжении двух сезонов, которое обеспечило увеличение содержания элементов питания на черном пару [Чупрова, 1995; Бычкова, 1999, Морковкин, Демина, 2009].

Таким образом, севооборот озимых сидератов в междурядиях агроценоза *M. domestica* на черноземе южном положительно влиял на ее продуктивность.

Очевидно, что продуктивность плодового дерева является во многом результирующей воздействия почвенно-климатических и антропогенных факторов [Драгавцева и др., 2011; Лопатина, Драгавцева, 2014]. Н.М. Козак [1995, 1996] считал, что если знать, какую долю урожайности может дать каждый фактор, то можно создать растениям такие условия, которые способствовали бы проявлению их потенциальных возможностей.

Нашими исследованиями установлено, что продуктивность садового агроценоза с монокультурой *M. domestica* наиболее тесно и достоверно связана с величиной запаса продуктивной влаги в верхнем метровом слое почвы в июне при сидерации (r = 0,94). Между запасом нитратного азота и продуктивностью установлена отрицательная тесная достоверная для апреля и августа, и средняя для июня зависимость (r = –0,79; –0,88 и –0,35 соответственно). Это связано с тем, что во влажные годы продуктивность *M. domestica* резко возрастала при одновременном вымывании из верхнего 60-ти см слоя почвы нитратного азота и большем его выносе с урожаем, а его восполнение за счет сидератов было незначительным. Между запасом продуктивной влаги и запасом нитратного азота установлена отрицательная тесная достоверная корреляционная связь (r = –0,97 для апреля, –0,85 для июня и –0,75 для августа). Та же закономерность обнаружена и для обменного K_2O, но связь его с продуктивностью слабее, возможно, из-за высокого его содержания в черноземах южных (агрочерноземах сегрегационных) на рыхлых суглинистых отложениях. Некоторое увеличение концентрации подвижного фосфора в почве в августе при сидерации

способствовало увеличению урожая плодов *M. domestica* (r = 0,72). Именно малая прибавка фосфора за счет сидерации и недостаток влаги являются лимитирующими факторами продуктивности в данных условиях.

Продуктивность *M. domestica*, конечно, определяется не каждым экологическим фактором в отдельности, а их совокупным влиянием на растение. Проведенный множественный корреляционный анализ данных показывает влияние различных эдафических факторов на продуктивность *M. domestica*. Такой анализ мы проводили для каждого сорта в отдельности. В анализ вошли следующие агрохимические показатели: запасы гумуса, элементов питания, продуктивной влаги в почве и суммы осадков в разные периоды вегетации.

Расчеты показывают, что для сорта ‘Аврора Крымская’ уравнение множественной регрессии зависимости продуктивности от некоторых показателей водного и пищевого режима почвы имеет вид:

$$Z_{\text{Аврора Крымская}} = 0{,}11\,x + 0{,}22\,y - 18{,}96, \qquad (13)$$

где Z – продуктивность сорта ‘Аврора Крымская’, т/га; x – запас продуктивной влаги в слое 0–100 см в августе, мм; y – запас подвижного P_2O_5 в слое 0–60 см в августе, кг/га.

Уравнение (13) существенно на 5 % уровне значимости. Свободный член уравнения характеризует начальную ординату гиперплоскости регрессии. Коэффициенты регрессии показывают, насколько в среднем меняется продуктивность при изменении величины каждого фактора на единицу при фиксированных значениях второго фактора. Оно показывает, что на черноземах южных лимитирующими показателями в формировании массы плодов ‘Аврора Крымская’ являются запасы влаги и подвижного P_2O_5 в почве в летний период. Коэффициент детерминации этого уравнения ($R^2 = 0{,}792$) свидетельствует о том, что продуктивность ‘Аврора Крымская’ на 79% определялась факторами, входящими в уравнение. Пользуясь уравнением (13) можно прогнозировать продуктивность сорта ‘Аврора Крымская’, зная запас продуктивной влаги в

метровом слое почвы в августе перед съемом урожая и запас подвижного фосфора в слое 0–60 см в этот период.

Для сорта ‘Голден Делишес’ также установлена достоверная множественная прямолинейная зависимость продуктивности от некоторых почвенных показателей, выраженная уравнением множественной регрессии (14):

$$Z_{\text{‘Голден Делишес’}} = 0{,}25\, x_1 + 0{,}06\, y_1 - 7{,}3, \qquad (14)$$

где Z – урожай сорта ‘Голден Делишес’, т/га; x_1 – запас продуктивной влаги в слое 0–100 см в июне, мм; y_1 – запас $N–NO_3$ в слое 0–60 см в августе, кг/га.

Уравнение (14) существенно на 5% уровне значимости. Коэффициент детерминации уравнения равен 0,896. Это означает, что продуктивность сорта ‘Голден Делишес’ на 89,6% определяется факторами, входящими в уравнение. Оно показывает, что продуктивность этого сорта тесно связана с запасами продуктивной влаги в слое 0–100 см в июне во время формирования плодов и увеличение этого показателя на единицу в пределах значений 18–142 мм увеличит урожай *M. domestica* на 250 кг/га.

Продуктивность этого сорта определялась также запасом $N–NO_3$ в почве в слое 0–60 см в августе. При выращивании всех входящих в исследование сидератов в почве происходило увеличение содержания нитратного азота по сравнению с черным паром, а также накопление влаги в июне и августе, что и способствовало увеличению урожая ‘Голден Делишес’.

Сорт ‘Ренет Симиренко’ характеризовался средней продуктивностью среди изученных сортов. По многолетним данным он составил 9,4 т/га. Корреляционный анализ данных показал, что существует достоверная прямая связь между урожаем этого сорта и запасом продуктивной влаги в верхнем метровом слое почвы в июне ($r = 0{,}78$), суммой осадков во все сроки наблюдений ($r = 0{,}67$, 0,69 и 0,55 для апреля, июня и августа соответственно) и обратная – с запасом обменного K_2O в 60 см слое почвы в августе ($r = -0{,}52$, $n = 19$).

Рассчитанное уравнение множественной регрессии (15) показывает, что чистая продуктивность агроценоза *M. domestica* достоверно зависела от количества осадков, а, следовательно, от увлажненности вегетационного периода. Уравнение множественной регрессии имеет вид:

$$Y_{\text{'Ренет Симиренко'}} = 2{,}51\, x_2 - 1{,}97\, x_3 + 0{,}46\, x_4 - 53{,}67 \qquad (15)$$

$$R^2 = 0{,}947,\ p < 0.05,$$

где Y – продуктивность ‘Ренет Симиренко’, т/га; x_2 – сумма осадков за апрель, мм; x_3 – сумма осадков за июнь, мм; x_4 – сумма осадков за август, мм.

Коэффициент множественной регрессии уравнения (15) показывает, что связь между указанными показателями тесная, достоверная на 95% уровне вероятности. Коэффициент детерминации этого уравнения свидетельствует о том, что урожай данного сорта на 94,7% определялся факторами, входящими в уравнение при колебании значений аргументов для июня в пределах: 28,2–102,1 мм для апреля, 18,7–113,4 мм для июня и 12,7–109,5 мм осадков для августа. Причем увеличение суммы апрельских и августовских осадков приводило к увеличению продуктивности, а июньских, наоборот, его снижению. Вероятно, это связано с благоприятными условиями для развития грибных заболеваний (мучнистой росы и особенно парши) на этом сорте при обильных осадках в июне [Атлас перспективных сортов…, 1999]. Это может снизить урожай и товарное качество плодов.

Пользуясь уравнением (15) можно прогнозировать урожай сорта ‘Ренет Симиренко’ и, если суммы атмосферных осадков недостаточны в апреле и августе, то их можно восполнить орошением, доводя содержание влаги до оптимального уровня для получения планируемой продуктивности. При обильных осадках в июне необходимо тщательно регулировать фитосанитарное состояние в агроценозе.

Таким образом, продуктивность поздних сортов *M. domestica* в степном Крыму определялась в основном запасами влаги в почве и количеством

атмосферных осадков при нехватке оросительной воды для поддержания оптимальной влажности на протяжении всего вегетационного периода. Сорта несколько различались по потребности во влаге и элементах питания. Так продуктивность ‘Авроры Крымской’ кроме запаса влаги в почве зависела и от содержания подвижных форм фосфора, а ‘Голдена Делишеса’, как наиболее продуктивного, — от запаса $N–NO_3$ в почве.

Приведенные уравнения множественной регрессии позволяют прогнозировать или моделировать продуктивность указанных сортов на черноземах южных в условиях орошения и севооборота озимых сидератов.

В целом введение севооборота озимых сидератов в садовый агроценоз *M. domestica* способствовало стабилизации содержания и накоплению гумуса, улучшению структуры и разуплотнению верхнего слоя почвы, оптимизировало водный и пищевой режимы в эдафотопе, приводило к увеличению продуктивности плодовых растений. Применение сидератов способствало экологизации агроценоза, так как происходило увличение содержания подвижных форм азота и калия в почве без дополнительного внесения минеральных удобрений. На основании полученных в результате мониторинга данных разработаны модели продуктивности изученных зимних сортов *M. domestica*, что позволит прогнозировать и моделировать продуктивность садового агроценоза в экологических условиях степного Крыма.

РАЗДЕЛ 7
ОПТИМИЗАЦИЯ АГРОЦЕНОЗА ПЛОДОВОГО ПИТОМНИКА ПРИ АКТИВИЗАЦИИ РАСТИТЕЛЬНО-МИКРОБНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Проблемой современного питомниководства является снижение плодородия почв питомников. Это связано с нехваткой органических и дороговизной минеральных удобрений, потерей агрономически ценной структуры почвы из-за частых механических обработок, нарушением севооборота при снижении биоразнообразия и длительного применения черного пара как основной системы содержания почвы. Отрасль питомниководства в настоящее время не обеспечивает потребности страны в высококачественных плодовых саженцах. В Крыму создана программа развития садоводства до 2024 года [Плугатарь, Смыков, 2015], которая предусматривает увеличение площади плодовых насаждений в Крыму на 10 тыс. га. Для этого предполагается произвести сертифицированного безвирусного посадочного материала плодовых культур в количестве 2325 тыс. шт. Общая истощенность почв и низкая культура земледелия не будут способствовать ее выполнению [Кондратенко и др., 2008, Чурагулова, Садыкова, 2000].

В этих условиях возникает необходимость адаптивного подхода в сельском хозяйстве [Жученко, 2008], который основывается на повышении эффективности каждой вложенной единицы антропогенной энергии, снижения техногенного прессинга и экологизации выращивания плодовых саженцев. Добиться этого можно, повышая адаптивность и устойчивость агроценоза без загрязнения окружающей среды путем активизации растительно-микробного взаимодействия, которое в сельскохозяйственном производстве недостаточно активно используется [Мельничук, Патика, 2011]. Это активизация полезных ассоциативных связей растений и микроорганизмов для улучшения питания растений азотом и фосфором, усиления роста, защиты от патогенов, фитофагов и т.д.

В нашу задачу входило исследование бактеризации семян и ризосферы плодовых саженцев активными штаммами полезных бактерий с различными свойствами для улучшения питания растений, повышения плодородия почвы и получения качественного посадочного материала в нужном количестве [Клименко и др., 2008, 2013; Методические рекомендации..., 2011; Клименко, 2014; Klymenko et al., 2014].

7.1. Воздействие микробных препаратов на рост и состояние плодовых саженцев

Одним из путей биологизации садовой агроэкосистемы является усиление мутуалистических взаимоотношений высших растений и микроорганизмов с целью обеспечения растений элементами минерального питания в доступных формах, усиления ростовых процессов и устойчивости к патогенам, что повышает их адаптивный потенциал. Это достигается бактеризацией корневой системы (семян) и почвы активными штаммами микроорганизмов и применением микробных препаратов (МП), созданных на их основе [Павленко Андриенко, 1995; Aslantas et al, 2007; Grzyb Z.S. et al., 2012]. Однако эти исследования в основном касались *M. domestica*, а известно, что биологические процессы ассоциации могут быть видоспецифичны и зависеть от гидротермических условий. В степном Крыму не проводилось исследований поиска наиболее оптимальных и эффективных взаимоотношений растений рода *Prunus* и различных полезных и активных штаммов микроорганизмов. Это и определило новизну и актуальность наших исследований.

7.1.1. Влияние микробных препаратов на рост и качество саженцев *P. persica* и *Cerasus avium* (L.) Moench

Исследования состояния и роста сеянцев *P. dulcis* (подвоя для *P. persica*) показали, что всхожесть семян в контроле (без применения МП) была довольно высокой (таблица 7.1).

Таблица 7.1 – Воздействие микробных препаратов на всхожесть семян и показатели роста сеянцев *P. dulcis*, (2005–2007 гг.)

Варианты	Всхожесть, % от числа посеянных семян	Высота, см	Диаметр штамба, мм
Контроль	78 ± 4	77 ± 20	8,3 ± 0,7
Диазофит	73 ± 6	79 ± 23	8,6 ± 0,7
Фосфоэнтерин	76 ± 4	74 ± 20	8,5 ± 0,8
Биополицид	68 ± 4	75 ± 20	8,5 ± 0,5
КМП	77 ± 3	77 ± 22	8,5 ± 0,9

Все примененные МП снижали всхожесть семян *P. dulcis*, особенно в годы с неблагоприятными погодными условиями зимне-весеннего периода [Клименко и др., 2008]. Учитывая строение семян этого растения, следует отметить, что при обработке посевного материала МП попадали на поверхность косточки, которая у *P. dulcis* имеет крупные размеры и пористую структуру. Это приводило к адсорбции значительного количества микроорганизмов на семени и отрицательно воздействовало на всхожесть семян.

Однако МП положительно воздействовали на рост и состояние сеянцев этого растения в первом поле питомника (таблица 7.2). При использовании Диазофита произошло увеличение высоты сеянца на 2 см, а при инокуляции семян всеми входящими в исследование МП возрастал диаметр штамба. Наибольшим он был при использовании Диазофита. Следует отметить, что уменьшение высоты сеянца при применении некоторых МП происходило не за счет угнетения роста, а вследствие образования большего числа боковых побегов (таблица 7.2, рисунок 7.1). Применение МП способствовало побего- и корнеобразованию, а также положительно влияло на рост корневой системы сеянцев. Число побегов и корней у сеянца *P. dulcis* в большей мере увеличивалось под действием Диазофита и КМП на 5–8 шт.

Наиболее значительной масса сеянца была в вариантах с применением Биополицида и КМП, причем она в большей мере зависела от числа боковых корней ($r = 0,75$, $n = 10$).

Таблица 7.2 – Биометрические показатели роста и биомассы сеянцев *P. dulcis,* 2009 г., n = 10

Вариант	Сухая масса сеянца, г	Высота, см	Количество боковых побегов, шт.	Длина главного корня, см	Количество боковых корней, шт.
Контроль	9,6 ± 0,8	48,2 ± 2,2	12 ± 1,3	32,8 ± 3,2	15 ± 2,3
Диазофит	9,7 ± 0,6	37,7 ± 0,7	20 ± 3,8	37,3 ± 7,1	20 ± 3,8
Фосфоэнтерин	10,0 ± 0,5	41,0 ± 0,9	10 ± 1,5	39,8 ± 4,3	14 ± 2,1
Биополицид	11,4 ± 0,9	39,2 ± 2,6	14 ± 3,0	33,5 ± 3,8	16 ± 2,0
КМП	13,6 ± 1,8	34,3 ± 2,0	18 ± 4,6	35,7 ± 1,3	22 ± 4,0

Рисунок 7.1. Состояние сеянцев *P. dulcis* на контроле (слева) и с применением Комплекса микробных препаратов (справа)

Таким образом, МП способствовали увеличению длины главного корня, числа побегов и корней, сухой массы сеянца, следовательно, улучшали состояние сеянцев *P. dulcis* перед окулировкой.

После перезимовки привитых глазков *P. persica* на контроле их сохранность в среднем за 3 года опыта была невысокой (таблица 7.3).

Все МП незначительно снижали сохранность глазков *P. persica* по сравнению с контролем. Однако Диазофит увеличивал среднюю высоту саженца на 8 см в сравнении с контролем, а Фосфоэнтерин и Биополицид способствовали увеличению диаметра штамба, что говорит о большем нарастании древесины и улучшении общего состояния растений.

Таблица 7.3 – Сохранность глазков (% от числа посеянных семян), высота и диаметр штамба саженцев *P. persica* ‘Фаворита Мореттини’ на подвое *P. dulcis*. (2006–2008 гг.)

Вариант	Сохранность глазков, % числа посеянных семян	Высота саженца, см	Диаметр штамба, мм
Контроль	53 ± 8	106 ± 6	9,9 ± 0,4
Диазофит	45 ± 10	114 ± 9	9,3 ± 0,5
Фосфоэнтерин	52 ± 5	102 ± 5	10,0 ± 0,1
Биополицид	43 ± 2	102 ± 3	10,2 ± 0,5
КМП	51 ± 14	103 ± 5	9,4 ± 0,6

МП способствовали образованию боковых побегов, корней и стимулировали рост корневой системы саженцев ‘Фаворита Мореттини’, что повышало их качество (таблица 7.4).

Таблица 7.4 – Влияние МП на рост побегов и корней однолетних саженцев ‘Фаворита Мореттини’, 2006 г. (n = 10)

Вариант	Количество побегов, шт	Средняя длина побега, см	Общий прирост побегов, см	Количество основных корней, шт.	Длина главного корня, см
Контроль	5,8 ± 0,8	17,4 ± 1,1	115 ± 17	7,3 ± 0,3	50,1 ± 1,5
Диазофит	6,4 ± 0,7	22,7±1,6*	167 ± 18*	8,5 ± 0,9	52,0 ± 0,7
Фосфоэнтерин	6,2 ± 1,0	18,5 ± 1,0	126 ± 13	6,9 ± 0,5	50,4 ± 3,5
Биополицид	6,3 ± 1,0	21,5 ± 2,2	137 ± 21	7,5 ± 0,4	52,6 ± 2,3
КМП	6,0 ± 0,9	20,4 ± 0,6	132 ± 9	7,9 ± 0,8	51,4 ± 2,6
* Разница с контролем существенна, $p \leq 0,05$.					

МП оказывали последействие на рост саженцев сорта ‘Фаворита Мореттини’ во втором поле питомника. Они способствовали образованию и росту боковых побегов и корней саженцев, что повышало их качество. Лучшим по комплексу признаков при выращивании саженцев *P. persica* ‘Фаворита Мореттини’ признаны Диазофит, Биополицид и КМП.

Усиление ростовых процессов, корне- и побегообразование под действием МП способствовало увеличению количества получаемых саженцев и качества посадочного материала *P. persica* в питомнике. Наибольшее число стандартных саженцев сорта ‘Фаворита Мореттини’ получено при использовании Фосфоэнтерина и КМП, которые увеличивали его на 11 и 7% от контроля соответственно (таблица 7.5).

Таблица 7.5 – Выход однолетних саженцев *P. persica* ‘Фаворита Мореттини’ на подвое *P. dulcis*, обработанными микробными препаратами (2006–2008 гг.)

Вариант	Всего однолетних саженцев, %		В том числе стандартных	
	от посеян-ных семян	от контроля	тыс. шт./га	% от контроля
Контроль	46,9	100	24,0	100
Диазофит	42,5	90,6	24,1	104
Фосфоэнтерин	50,4	107,5	26,7	111,2
Биополицид	40,2	85,7	24,8	103,3
КМП	47,7	101,7	25,7	107,1

Таким образом, применение МП при выращивании привитых однолетних саженцев *P. persica* положительно воздействовало на рост надземной части (побеги и диаметр штамба) сеянцев и корневой системы подвоя *P. dulcis*, улучшало состояние сеянцев *P. dulcis* перед окулировкой. Последействие применения МП проявлялось во втором поле питомника в усилении роста боковых побегов и корней саженцев, что также повышало их качество.

В агроценозе плодового питомника *Cerasus avium* также проводились исследования по биологизации экосистемы путем бактеризации ризосферы сеянцев *C. mahaleb* (подвоя для *C. avium*) активными штаммами бактерий —

биоагентов МП. Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение МП положительно влияло на развитие подвоев *C. mahaleb*. Это выражалось в улучшении приживаемости сеянцев, особенно значительно при применении Фосфоэнтерина (на 12% от контроля), применение Диазофита и Биополицида стимулировало рост сеянцев (таблица 7.6).

Таблица 7.6 – Влияние микробных препаратов на приживаемость и рост сеянцев *Cerasus mahaleb* (2005–2007 гг.)

Вариант	Количество прижившихся растений		Высота сеянцев	
	% от посаженных	% от контроля	см	% от контроля
Контроль	81,9 ± 6,8	100	68,8 ± 9,1	100
Диазофит	86,8 ± 6,5	106	72,5 ± 12,7	105
Фосфоэнтерин	92,0 ± 4,5	112	68,1 ± 4,4	99
Биополицид	85,3 ± 7,5	104	74,9 ± 9,8	109
КМП	85,7 ± 7,5	103	66,8 ± 9,3	97

Инокуляция корневой системы сеянцев *C. mahaleb* биоагентами МП способствовала увеличению количества растений, подошедших к окулировке, на 6–18% от числа посаженных растений по сравнению с контролем, что косвенно свидетельствует об улучшении их качества (таблица 7.7). Наибольшее число отмечено в вариантах с Диазофитом и Фосфоэнтерином.

Таблица 7.7 – Влияние микробных препаратов на число подвоев *C. mahaleb*, подошедших к окулировке

Вариант	2005 г.	2006 г.	2007 г.	Среднее за три года	
	% от числа посаженных подвоев				% от контроля
Контроль	58,0	90,0	82,2	76,7	100
Диазофит	68,3	98,8	84,4	83,8	109
Фосфоэнтерин	83,3*	95,0	93,3	90,5	118
Биополицид	68,3	100,0	81,0	83,1	108
КМП	70,0	92,5	84,5	82,3	106
* Разница с контролем 2005 г. существенна, $p \leq 0,05$.					

Следовательно, все примененные МП увеличивали приживаемость и улучшали состояние растений *C. mahaleb* в большей мере, чем у *P. dulcis*, что говорит об индивидуальной реакции высших растений к ассоциации с бактериями [Мікробні препарати у землеробстві…, 2006].

Диазофит и Биополицид стимулировали рост сеянцев. Наиболее эффективными в первом поле питомника по комплексу признаков оказались Фосфоэнтерин, Диазофит и Биополицид.

Сохранность окулированных почек *C. avium* ‘Валерий Чкалов’ после перезимовки зависела от погодных условий года выращивания. В 2006 году по результатам весенней ревизии в контроле сохранилось всего 57% почек, так как осенне-зимний период при перезимовке окулянтов был неблагоприятным с низкими температурами (−25.6 °С) и отсутствием снежного покрова (таблица 7.8).

Таблица 7.8 – Влияние МП на сохранность глазков *C. avium* ‘Валерий (весенняя ревизия), 2006–2008 гг.

Вариант	2006 г.	2007 г.	2008 г.	Среднее за 3 года	
	% от числа посаженных сеянцев				% от контроля
Контроль	57	73	47	59,0 ± 7,6	100
Диазофит	63	80	55	66,0 ± 7,4	112
Фосфоэнтерин	72	78	62	70,7 ± 4,7	120
Биополицид	65	73	47	61,7 ± 7,7	105
КМП	63	68	51	60,7 ± 5,0	103

В 2008 году число сохранившихся глазков после перезимовки было самым низким из трех лет опыта, что связано с поздними затяжными весенними заморозками. В 2007 году, когда погодные условия зимы были более мягкими, в контроле сохранилось 73% почек от числа посаженных сеянцев. В среднем за три года исследований в контроле сохранность глазков сорта ‘Валерий Чкалов’ находилась на среднем уровне. Все МП увеличивали этот показатель. Наиболее значительно он возрос при инокуляции корневой системы *C. mahaleb* Диазофитом и Фосфоэнтерином на 12−20% от контроля.

Применение МП способствовало усилению ростовых процессов надземной части, а также значительно росту и ветвлению корневой системы саженцев ‘Валерий Чкалов’ (таблица 7.9).

Таблица 7.9 – Влияние МП на высоту, диаметр штамба и развитие корневой системы саженцев ‘Валерий Чкалов’, 2006 г. (n = 10)

Вариант	Высота, см	Диметр штамба, мм	Количество основных корней, шт.	Длина корневой системы, см
Контроль	123,9 ± 13,0	13,4 ± 1,1	5,8 ± 0,3	31,9 ± 1,6
Диазофит	115,6 ± 5,0	12,8 ± 0,6	7,2 ± 0,3*	38,7 ± 1,3*
Фосфоэнтерин	122,1 ± 4,4	12,7 ± 0,6	7,8 ± 0,5*	40,6 ± 0,7**
Биополицид	125,8 ± 14,6	12,8 ± 1,2	7,5 ± 0,5*	40,0 ± 0,6**
КМП	124,4 ± 6,0	13,6 ± 0,4	8,2 ± 0,6*	38,6 ± 4,6
* Разница с контролем существенна, $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$.				

Высота саженцев в контроле перед выкопкой достигала 123,9 см, инокуляция семян препаратами Биополицид и КМП способствовала лишь некоторому увеличению этого показателя. Диаметр штамба саженцев контрольного варианта соответствовал стандарту [ГОСТ Р 53135-2008] и под действием МП менялся мало. Однако количество основных корней достоверно увеличивалось при инокуляции корневой системы сеянца всеми изученными препаратами, особенно значительно при использовании Фосфоэнтерина и КМП. Длина корневой системы также возрастала значительно под действием всех МП и достоверно при использовании Диазофита, Фосфоэнтерина и Биополицида.

Выход однолетних саженцев сорта ‘Валерий Чкалов’ в среднем за три года опыта в контроле составил 43,6 тыс. шт./га (таблица 7.10). Все примененные МП способствовали увеличению общего выхода саженцев сорта ‘Валерий Чкалов’, наиболее значительно этому способствовал Фосфоэнтерин, который увеличивал его на 34% от контроля.

Число стандартных саженцев в контроле в среднем за три года составило 24,1 тыс. шт. с 1 га. Диазофит, Фосфоэнтерин и КМП способствовали увеличению их числа по отношению к контролю на 39, 48 и 17% соответственно. Это

позволило получить дополнительно с 1 га от 4 до 12 тыс. шт. стандартных саженцев.

Таблица 7.10 – Воздействие микробных препаратов на выход однолетних саженцев *C. avium* ‘Валерий Чкалов’ (2006–2008 гг.)

Вариант	Всего саженцев		Стандартных саженцев		Дополнительное число стандартных саженцев
	тыс. шт./га	% от контроля	тыс. шт./га	% от контроля	
Контроль	43,6	100	24,1	100	-
Диазофит	50,2	115	33,5	139	9,4
Фосфоэнтерин	58,4*	134	35,6	148	11,5
Биополицид	47,9	110	24,7	103	0,6
КМП	49,3	113	27,6	117	3,5
* Разница с контролем существенна, $p \leq 0,05$.					

Таким образом, все примененные МП увеличивали приживаемость и улучшали состояние растений *C. mahaleb*. Диазофит и Биополицид стимулировали рост сеянцев. Наиболее эффективными в первом поле питомника по комплексу признаков оказались Фосфоэнтерин, Диазофит и Биополицид. Все МП увеличивали число растений, подошедших к окулировке за счет улучшения общего состояния подвоев. Наиболее значительно возросла сохранность почек культурного сорта ‘Валерий Чкалов’ при инокуляции корневой системы *C. mahaleb* Диазофитом и Фосфоэнтерином на 12–20% от контроля, что говорит о повышении зимостойкости глазков при использовании МП. Применение МП способствовало усилению ростовых процессов надземной части, роста и развития корневой системы саженцев ‘Валерий Чкалов’. Применение МП при выращивании саженцев *C. avium* способствовало увеличению общего количества полученных саженцев с одного гектара и улучшению их качества. В большей мере это происходило при обработке корневой системы сеянцев *C. mahaleb* Диазофитом и Фосфоэнтерином на 39–48% от контроля.

7.1.2. Реакция растений *P. armeniaca и P. cerasifera* на инокуляцию семян микробными препаратами

Проведенные исследования показывают, что всхожесть семян *P. armeniaca* и *P. cerasifera* в контроле была средней, примерно одинаковой в первые два года и высокой на третий год исследований (таблица 7.11, Г. 1, Г. 2).

Таблица 7.11 − Влияние микробных препаратов на всхожесть семян *P. armeniaca и P. cerasifera* (2010–2012 гг.)

Вариант	Всхожесть семян *P. armeniaca,* %		Всхожесть семян *P. cerasifera*, %	
	от числа посеянных	от контроля	от числа посеянных	от контроля
Контроль	56,5	100	58,4	100
Азотобактерин	55,0	97	61,7	106
Фосфоэнтерин	63,6	113	61,8	106
КМП	63,3	112	67,0	115
Примечание – Существенной разницы с контролем по всем вариантам опыта не обнаружено.				

Такие колебания можно объяснить влиянием экологических условий года на формирование семян. Фосфоэнтерин и КМП увеличивали всхожесть семян *P. armeniaca* в питомнике на 12–13% от контроля, что является довольно значительной величиной, так как семена этого растения не всегда дружно всходят в первый год после посева в питомнике.

На всхожесть семян *P. cerasifera* наибольшее положительное влияние оказал КМП, бактеризация семян которым увеличивала всхожесть на 15%. Наиболее значительное и существенное положительное воздействие на всхожесть семян *P. cerasifera* оказали Фосфоэнтерин и КМП в 2012 г. Она увеличилась на 60–70% от контроля, в котором всхожесть семян была самой низкой из трех лет исследований (таблица Г.2).

Биометрические показатели роста и состояния сеянцев *P. armeniaca* в питомнике свидетельствуют о том, что все примененные МП положительно влияли на рост сеянцев (таблица 7.12).

Таблица 7.12 – Биометрические показатели сеянцев *P. armeniaca* при использовании микробных препаратов (2010–2012 гг.), n = 6

Вариант	Высота сеянца, см	Длина главного корня, см	Число боковых корней, шт.	Число боковых побегов, шт.	Средняя длина побега, см	Общий прирост побегов, см	Масса сеянца, г
Контроль	36,6 ± 1,4	27,3 ± 2,4	9,5 ± 0,5	5,9 ± 1,2	8,6 ± 1,2	46,1 ± 7,3	6,2±1,0
Азотобактерин	41,6 ± 1,8	27,7 ± 0,2	11,8 ± 2,0	4,8 ± 0,5	12,1 ±3,2	53,1 ± 3,0	7,7±1,6
Фосфоэнтерин	42,1 ± 3,0	28,3 ± 1,0	11,1 ± 0,5	6,0 ± 0,2	10,2 ±1,4	55,6 ±11,4	7,6±2,4
КМП	44,6±2,7*	29,4 ± 2,4	12,0±0,00*	7,9 ± 2,4	11,2 ±0,2	70,0±27,0	9,2±2,0
* Разница с контролем существенна, $p \leq 0,05$.							

Это выражалось в увеличении высоты сеянца, средней длины побега и общего прироста побегов. Максимальное увеличение этих показателей отмечается при использовании КМП. Этот препарат существенно увеличивал высоту сеянца на 8 см, общий прирост побегов — на 24 см. Средняя длина побега максимально увеличивалась при использовании Азотобактерина при уменьшении числа побегов.

Биопрепараты стимулировали побего- и корнеобразование у сеянцев *P. armeniaca,* что способствовало лучшему питанию растений и увеличению массы сеянца. Так КМП существенно увеличивал число боковых корней и боковых побегов на 2 шт. Масса сеянца также увеличивалась за счет лучшего его развития на 1,4–3,0 г, максимально при использовании КМП на 48% относительно контроля.

Использование МП способствовало усилению роста сеянцев *P. cerasifera* (таблица 7.13). Азотобактерин и КМП наиболее значительно увеличивали высоту сеянца на 6–8 см и общий прирост побегов на 10 см. При этом увеличивалось число побегов, а в последнем случае и средняя длина побега. Все примененные МП способствовали корнеобразованию.

Таблица 7.13 – Биометрические показатели сеянцев *P. cerasifera* при использовании микробных препаратов (2010–2012 гг.), n = 6

Вариант	Высота сеянца, см	Длина главного корня, см	Число боковых корней, шт.	Число боковых побегов, шт.	Средняя длина побега, см	Общий прирост побегов, см	Масса сеянца, г
Контроль	34,7 ±2,7	25,8±1,1	7,5±0,8	4,1±1,1	8,7±1,7	35±13,1	4,3±0,5
Азотобактерин	42,5±4,4	25±1,0	9,5±1,3	7,2±0,6*	6,5±0,9	45,6±5,7	5,2±0,4
Фосфоэнтерин	38,8±5,4	26,4±2,1	8,7±1,7	4,8±0,7	9,5±2,8	41,1±10,5	5,0±0,4
КМП	40,6±4,5	26,6±1,2	9,5±1,8	5,0±0,7	10,4±2,5	45,3±5,0	5,6±0,4
* Разница с контролем существенна, $p \leq 0,05$.							

Число боковых корней увеличилось на 2 шт. при бактеризации семян биоагентами Азотобактерина и КМП, Фосфоэнтерин и КМП в большей мере стимулировали рост главного корня. Все это привело к увеличению массы сеянца на 0,7–1,3 г под действием МП.

Таким образом, на рост и состояние сеянцев *P. armeniaca* наибольшее стимулирующее влияние оказало применение КМП, на сеянцы *P. cerasifera* – Азотобактерина и КМП.

Лучшее развитие сеянцев *P. armeniaca и P. cerasifera* в первом поле питомника при использовании МП отразилось на их общем состоянии и увеличивало число растений, подошедших к окулировке. Данные показывают, что в среднем за три года число заокулированных растений в контроле было средним и примерно одинаковым для обоих видов (таблицы 7.14, Г. 1, Г. 2). Применение МП увеличивало число заокулированных растений на 1–8% от числа заокулированных растений или на 1–15% от контроля. Наибольшее превышение контроля по числу заокулированных растений получено при использовании КМП (15%).

Важным этапом в жизни плодовых саженцев является перезимовка глазков. Зимой температуры воздуха нередко значительно снижаются и бывают лимитирующими для окулянтов. Большой урон окулянтам наносят также поздние весенние заморозки [Клименко, Клименко, 2012].

Таблица 7.14 – Влияние микробных препаратов на число заокулированных растений и сохранность глазков (весенняя ревизия) *P. armeniaca* ‘Крымский Амур’ и *P. cerasifera* ‘Обильная’ (2011–2013 гг.)

Вариант	‘Крымский Амур’				‘Обильная’			
	Заокулировано, %		Сохранность глазков, %		Заокулировано, %		Сохранность глазков, %	
	от числа посеянных	от контроля	от числа посеянных	от контроля	от числа посеянных	% от контроля	% от числа посеянных	% от контроля
Контроль	48,9	100	38,2	100	49,4	100	44,6	100
Азотобактерин	50,7	104	42,0	110	53,3	108	47,2	106
Фосфоэнтерин	52,2	107	46,2	121	49,8	101	43,0	96
КМП	56,4	115	48,3	126	57,0	115	49,5	111

В годы их выращивания саженцев *P. armeniaca* и *P. cerasifera* зима 2010 – 2011 гг. была очень мягкой, но в конце апреля 2011 г., когда появились всходы в первом поле и началось распускание почек окулянтов, наблюдались заморозки в воздухе –0,7... –1,6^{o}, а на поверхности почвы температура воздуха опускалась до –4^{o}. Зима 2011–2012 гг. была холодной. В феврале 2012 г. абсолютный минимум температуры достигал –23,6 ^{o}С. Зима была затяжной и в марте число дней с отрицательной температурой равнялось двадцати, абсолютный минимум температуры воздуха составил –9,7 ^{o}С. Все это отрицательно влияло на перезимовку сеянцев и окулянтов в годы исследований. Зима 2012–2013 гг. была теплой. По данным метеостанции СО НБС – ННЦ минимальная температура воздуха составила –10,1 ^{o}С в январе. В апреле и мае заморозков в воздухе и на поверхности почвы не наблюдалось, поэтому число живых почек Р. *armeniaca* ‘Крымский Амур’ после перезимовки было максимальным в 2013 г. (таблица Г. 1). У растений *P. cerasifera*, наоборот, число глазков привоя ‘Обильная’, сохранившихся после перезимовки 2012–2013 гг. было самым низким за три года исследований, что было связано с низкой всхожестью семян в 2012 г. (таблица Г. 2)

Данные полевых исследований показывают, что в контроле число живых глазков сократилось на 5–10% по сравнению с количеством заокулированных почек в зависимости от вида растения (таблица 7.14). Глазки сорта ‘Обильная’ оказались более зимостойкими, чем у сорта ‘Крымский Амур’, что определяется биологическими особенностями этих видов. Все МП способствовали увеличению сохранности глазков сорта ‘Крымский Амур’ после перезимовки на 10–26% относительно контроля, особенно значительно Фосфоэнтерин и КМП. Для *P. cerasifera* увеличение сохранности почек сорта ‘Обильная’ отмечалось под действием Азотобактерина и КМП (на 6–11%), что было значительно ниже, чем у сорта ‘Крымский Амур’.

Таким образом, МП способствовали повышению устойчивости почек сортов *P. armeniaca* и *P. cerasifera* к неблагоприятным условиям зимне-весеннего периода, степень устойчивости глазков зависела как от биоагентов МП, так и от индивидуальных особенностей сорта.

Основными показателями устойчивости агроценоза и качества получаемого посадочного материала в питомнике являются: общий выход саженцев и доля стандартных саженцев от их общего количества. Данные показывают, что общий выход саженцев *P. armeniaca* ‘Крымский Амур’ в контроле в среднем за три года составил 36,6% от числа посеянных семян (рисунок 7.2). Бактеризация семян подвоя *P. armeniaca* биоагентом Азотобактерина увеличивала общий выход саженцев на 11% относительно контроля, КМП — на 28%. Эти препараты увеличивали долю стандартных в общем количестве полученных саженцев *P. armeniaca* (рисунок. 7.4, таблица Г. 1). Так в контроле в среднем за три года она составила 88,7% от общего числа полученных саженцев. При использовании КМП доля стандартных в общем числе полученных саженцев сорта ‘Крымский Амур’ существенно повысилась до 94,2% от общего их числа, при применении Азотобактерина — достигала 95,6%.

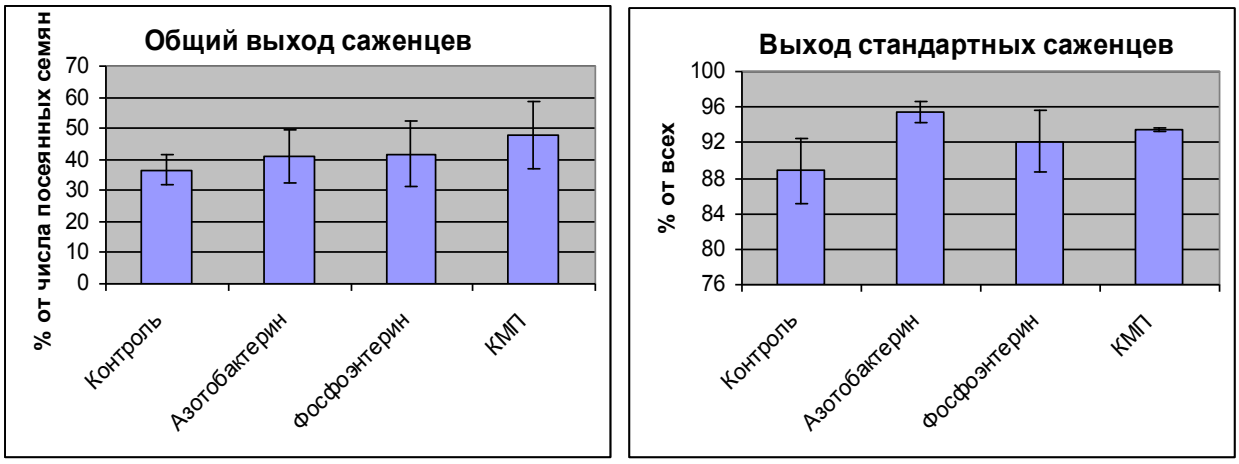

Рисунок 7.2. Влияние биопрепаратов на выход саженцев *P. armeniaca* ‘Крымский Амур’ (2011–2013 гг.)

При выращивании саженцев *P. cerasifera* ‘Обильная’ в контроле было получено 42,4% саженцев от числа посеянных семян. (рисунок 7.3). Применение Азотобактерина и КМП увеличивало общий выход саженцев на 1,8 и 3,5% от числа посеянных семян или на 6–19% от контроля. Применение Фосфоэнтерина практически не повлияло на общий выход саженцев этого сорта. Доля стандартных саженцев от общего их числа в контроле и по вариантам опыта была достаточно высокой (88–91%).

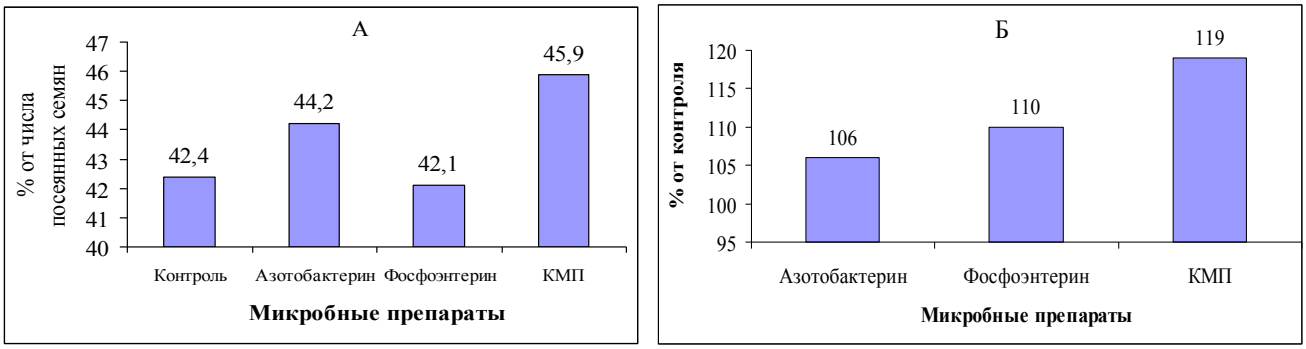

Рисунок 7.3. Влияние микробных препаратов на общий выход привитых саженцев *P. cerasifera* сорта ‘Обильная’, (2011–2013 гг.); А – % от числа посеянных семян, Б – % от контроля,

Следовательно, биологизация агроценоза плодового питомника *P. armeniaca* и *P. cerasifera* при введении полезных бактерий способствовала

увеличению всхожести семян, усилению роста и развития сеянцев при применении минимальных доз минеральных удобрений в виде подкормки во втором поле. МП способствовали повышению зимостойкости окулянтов и увеличению выхода стандартного посадочного материала. Вид *P. armeniaca* оказался более восприимчивым к ассоциации с бактериями, входящими в состав изученных МП, чем *P. cerasifera*. Наиболее эффективными из изученных МП оказались Азотобактерин и КМП, которые можно рекомендовать для биологизации агроценоза плодового питомника при снижении химической нагрузки на окружающую среду.

7.1.3. Обогащение микробного ценоза ризосферы саженцев *P. persica* и *C. avium* перспективными штаммами микроорганизмов

Одним из путей улучшения питания и повышения качества саженцев является применение азотфиксирующих и фосфатмобилизующих ассоциативных микроорганизмов и арбускулярно-микоризных грибов (АМГ), которые способны улучшить всхожесть семян и стимулировать рост подвоев, обеспечивать вегетирующие растения питательными веществами, ограничивать развитие фитопатогенов и фитофагов. В настоящее время препараты, созданные на основе этих микроорганизмов, успешно применяют при выращивании зерновых, бобовых, овощных, кормовых и других культур [Мікробні препарати у землеробстві…, 2006; Патика, Омельянець, 2005]. Однако использование этих микроорганизмов в агроценозах плодовых питомников недостаточно изучено [Рябцева, 2004; Aslantas, 2007; Ефимова, Юрков, 2015], а для саженцев *P. persica* и *C. avium* практически не изучено [Картыжова и др., 2009; Клименко и др., 2009, 2013].

Целью исследования было изучение применения активных штаммов микроорганизмов — фосфатмобилизаторов (ФМБ) и арбускуляро-микоризных грибов (АМГ) в плодовом питомнике для повышения биологического потенциала

в агроценозе, увеличения биоразнообразия и адаптивности выращиваемых растений.

P. persica. В результате проведенных исследований установлено, что всхожесть семян *P. dulcis* как подвоя для *P. persica,* в контроле колебалась от 66,7 в опыте с применением соломы как органического удобрения (опыт 1) до 79,4% от числа посеянных на фоне применения навоза (опыт 2) (таблица 7.15).

Таблица 7.15 – Влияние фосфатмобилизующих бактерий и арбускулярно-микоризных грибов на всхожесть семян *P. dulcis* (2007–2009 гг.)

Вариант	Опыт 1 (навоз 20 т/га)		Опыт 2 (солома 3т/га + N_{30})	
	% от числа посеянных семян	% от контроля	% от числа посеянных семян	% от контроля
Контроль	79,4 ± 7,3	100	66,7 ± 7,9	100
ФМБ № 6	71,9 ± 8,6	91	70,0 ± 4,2	105
ФМБ № 7	83,8 ± 3,0	106	61,7 ± 2,4	93
АМГ	-	-	64,4 ± 7,8	97

В опыте 1 установлено положительное влияние предпосевной инокуляции семян миндаля на их всхожесть в варианте с применением ФМБ № 7. В этом варианте она возрастала относительно контроля на 4,4% от числа посеянных семян или 6 % от контроля. При использовании соломы как органического удобрения отмечена тенденция к увеличению всхожести семян миндаля под влиянием ФМБ № 6 на 5% от контроля.

Изучение биометрических показателей сеянцев *P. dulcis* проводили в опыте 2. Установлено, что инокуляция семян миндаля и почвы изучаемыми микроорганизмами не привела к увеличению высоты сеянца (таблица 7.16). Однако применяемые штаммы ФМБ № 6 и АМГ способствовали образованию дополнительных боковых побегов и корней, а также росту главного корня. Причем при инокуляции семян всеми микроорганизмами возрастала масса сеянца, достоверно при использовании АМГ на 4 г по сравнению с контролем. Это может характеризовать улучшение общего состояния растений.

Таблица 7.16 – Биометрические показатели роста и биомассы сеянца *P. dulcis* при использовании различных микроорганизмов, опыт 2, 2009 г., (n = 10)

Вариант	Высота сеянца, см	Количество боковых побегов, шт.	Количество боковых корней, шт.	Длина главного корня, см	Масса сеянца, г
Контроль	48,2 ± 2,2	12 ± 1,3	15 ± 2,3	32,8 ± 3,2	9,6 ± 0,8
ФМБ № 6	41,8 ± 3,5	16 ± 4,8	23 ± 5,5	34,8 ± 4,8	12,8 ± 1,9
ФМБ № 7	41,5 ± 3,2	10 ± 3,3	15 ± 4,1	27,2 ± 2,0	11,1 ± 0,5
АМГ	40,8 ± 1,3	18 ± 2,9	21 ± 1,7	36,0 ± 4,4	13,6 ±0,8*
* Разница с контролем существенна, $p \leq 0,05$.					

Важным показателем состояния сеянцев в питомнике является их количество, готовое принять окулировку. Это подвои, диаметр которых у корневой шейки сеянцев составляет не менее 3–9 мм [Майдебура и др., 1989]. Число таких растений в контроле колебалась в пределах 60% от числа посеянных семян, и было несколько выше при использовании навоза в качестве органического удобрения (таблица 7.17).

Таблица 7.17 – Воздействие активных штаммов микроорганизмов на число растений *P. dulcis*, подошедших к окулировке (2007–2009 гг.)

Вариант	Опыт 1		Опыт 2	
	% от посеянных	% от контроля	% от посеянных	% от контроля
Контроль	65,6 ± 3,3	100	57,5 ± 5,0	100
ФМБ № 6	70,6 ± 3,0	108	63,4 ± 3,3	110
ФМБ № 7	67,5 ± 5,9	103	52,5 ± 2,2	91
АМГ	-	-	64,2 ± 2,0	112

ФМБ № 6 в двух опытах увеличивал число заокулированных растений. АМГ по фону соломы способствовал увеличению их числа в большей степени, чем ФМБ, на 12% относительно контроля.

Таким образом, по влиянию на состояние растений перед окулировкой лучшими оказались ФМБ № 6 и АМГ, причем по фону соломы это влияние было более значительным.

После перезимовки число сохранившихся глазков в контроле колебалось от 43 до 48% от числа посеянных семян (таблица 7.18).

Таблица 7.18 – Влияние микроорганизмов на сохранность глазков *P. persica* ‘Фаворита Моретини’ после перезимовки (2008–2010 гг.)

Вариант	Опыт 1		Опыт 2	
	% от посеянных	% от контроля	% от посеянных	% от контроля
Контроль	47,8 ± 1,3	100	42,8 ± 4,6	100
ФМБ № 6	46,5 ± 7,4	99	52,8 ± 2,8	123
ФМБ № 7	51,5 ± 4,6	110	45,0 ± 5,3	105
АМГ	-	-	43,8 ± 6,6	102

На фоне навоза (опыт 1) под действием бактеризации семян подвоя ФМБ № 7 произошло увеличение числа сохранившихся после перезимовки почек на 10% по сравнению с контролем, что говорит о положительном влиянии этого штамма на зимостойкость почек персика. По фону соломы (опыт 2) лучшим вариантом была бактеризация семян ФМБ № 6. Сохранность растений после перезимовки увеличилась на 23% относительно контроля.

Таким образом, при перезимовке глазков наибольшее положительное влияние на состояние окулянтов оказали ФМБ № 7, а также ФМБ № 6 на фоне соломы как органического удобрения. Возможно, микроорганизмы деструкторы соломы положительно воздействовали на развитие изучаемых штаммов.

Одними из показателей качества саженцев являются: высота надземной части растения, разветвленность и длина корневой системы. Высота позволяет сформировать крону, а развитие боковых корней способствует лучшей приживаемости саженцев при посадке в сад, увеличению площади их питания. Установлено, что средняя высота растения перед выкопкой в контроле составляла 164–167 см, что соответствовало стандарту на посадочный материал [ГОСТ Р 53135-2008]. Данные показывают также, что активные штаммы бактерий и АМГ, бактеризующие корневую систему саженцев, стимулировали их рост при внесении соломы (опыт 2). При этом средняя высота саженца возрастала на 6–9

см. Кроме того, увеличилось число боковых побегов у саженцев ‘Фаворита Мореттини’ при инокуляции семян АМГ на 2 штуки (14%), усилился рост и ветвление корневой системы саженцев (таблица 7.19).

Таблица 7.19 – Биометрические характеристики саженцев *P. persica* ‘Фаворита Мореттини’ в питомнике при использовании различных микроорганизмов (опыт 2, солома 3т/га + N_{30}), 2010 г.

Вариант	Количество боковых побегов		Длина корневой системы		Количество основных корней	
	штук	% от контроля	см	% от контроля	штук	% от контроля
Контроль	14 ± 1	100	30 ± 0,7	100	14 ± 0,3	100
ФМБ № 6	13 ± 1	93	33 ± 2,6	110	11 ± 0,7	79
ФМБ № 7	14 ± 2	100	34 ± 5,3	113	13 ± 1,4	93
АМГ	16 ± 1	114	40 ±1,4*	133	16 ± 2,0	113
АМГ+АД№10	13 ± 1	93	36 ±1,2*	120	18 ± 1,4*	126
* Разница с контролем существенна, $p \leq 0,05$.						

Длина корневой системы саженца достоверно увеличилась при использовании АМГ и совместного внесения АМГ и АД № 10 на 20–33% относительно контроля. На этих же вариантах увеличилось число основных корней на 2–4 шт., в варианте с АМГ + АД № 10 достоверно на 26%.

Таким образом, фосфатмобилизующие бактерии и ассоциация арбускулярно-микоризных грибов с диазотрофом способствовали побего- и корнеобразованию и стимулировали рост саженцев *P. persica*. Лучшими при внесении соломы следует считать АМГ, АМГ + АД № 10 и ФМБ № 7.

Таким образом, применение активных штаммов микроорганизмов фосфатмобилизаторов и арбускулярно-микоризных грибов с использованием органических удобрений как источника азота в плодовом питомнике способствовало повышению всхожести семян, усилению роста и ветвления, длины и количества корней, увеличению биомассы сеянцев *P. dulcis*. Степень воздействия микроорганизмов на рост и состояние сеянцев и саженцев зависела от фона органического азота. При использовании навоза больше проявилось

влияние ФМБ № 7, соломы — ФМБ № 6 и АМГ в комплексе с АД № 10. При применении соломы как источника углерода для развития микроорганизмов, их действие на рост и развитие саженцев *P. persica* ‘Фаворита Моретти’ было более эффективным по сравнению с их использованием на фоне навоза.

***C. avium*.** При выращивании саженцев важными являются несколько этапов их роста и развития. На каждом из этих этапов воздействие выбранных микроорганизмов было различным. Так приживаемость сеянцев *C. mahaleb* (подвой для *C. avium*) в контроле была высокой и составила 89,2% от числа посаженных подвоев (рисунок 7.4).

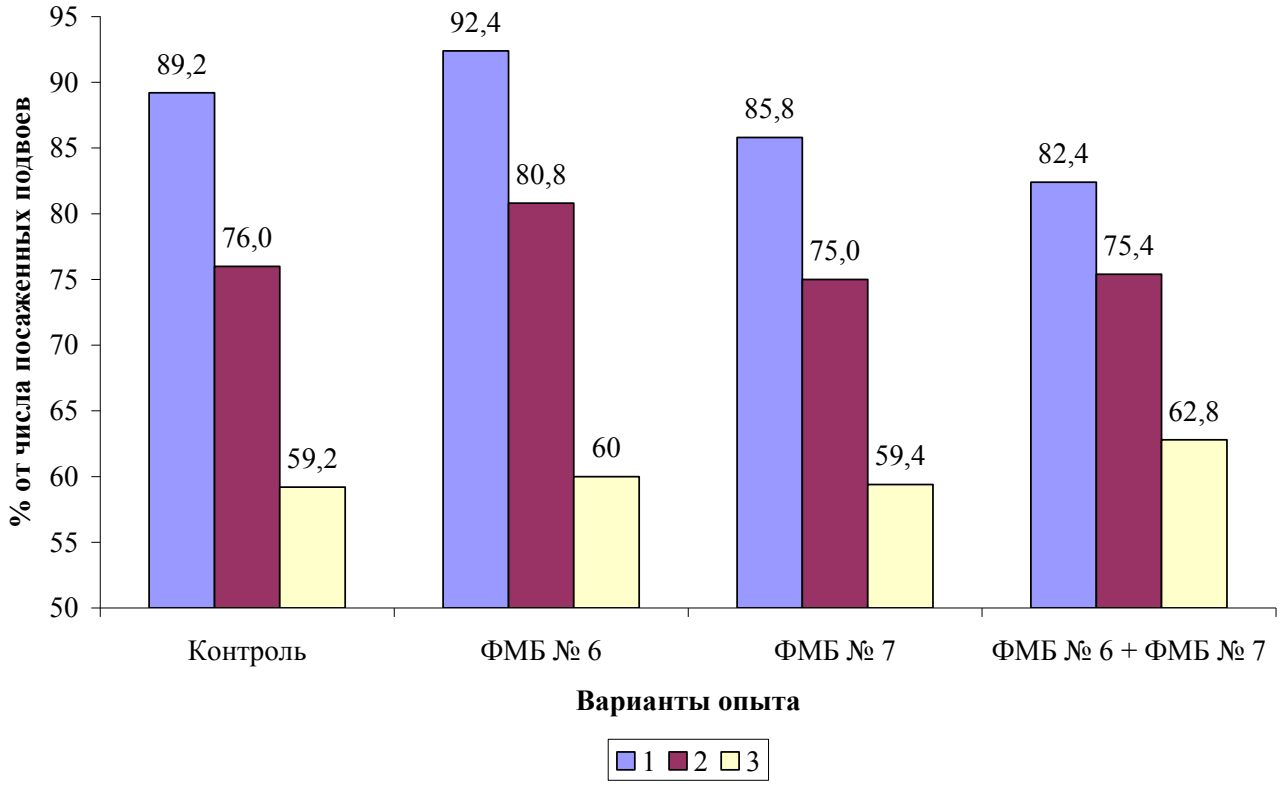

Рисунок 7.4. Приживаемость (1), число подвоев, подошедших к окулировке (2), сохраность глазков *C. avium* ‘Крупноплодная’(3); % от числа посаженных подвоев (2007–2008 гг.)

Применение ФМБ № 6 повышало приживаемость сеянцев на 3,2% от числа посаженных растений или на 3,6% от контроля.

Косвенным показателем состояния растений является их количество, которое подошло к окулировке. По влиянию на этот показатель лучшим оказался

ФМБ № 6, который увеличивал число растений, подошедших к окулировке на 6,3% относительно контроля.

Во второй год выращивания учет прижившихся глазков ‘Крупноплодная’ после перезимовки показал, что в контроле она была невысокой и составила всего 59,2% от контроля живых глазков. Применение смеси ФМБ № 6 + ФМБ № 7 увеличивала их количество по сравнению с контролем на 3,6% от числа посаженных растений или на 6% от контроля. Это свидетельствует о повышении устойчивости растения к неблагоприятным условиям перезимовки при инокуляции корневой системы активными штаммами бактерий.

Главными показателями продуктивности плодового питомника являются: общее количество полученных саженцев и доля стандартных саженцев от общего их числа. Установлено, что в отличие от первого года выращивания большее последействие на выход саженцев *C. avium* ‘Крупноплодная’ оказали ФМБ № 7 и смесь ФМБ № 6 + ФМБ № 7.

Общее количество саженцев в контроле составило 56,8% от числа посаженных подвоев (рисунок 7.5).

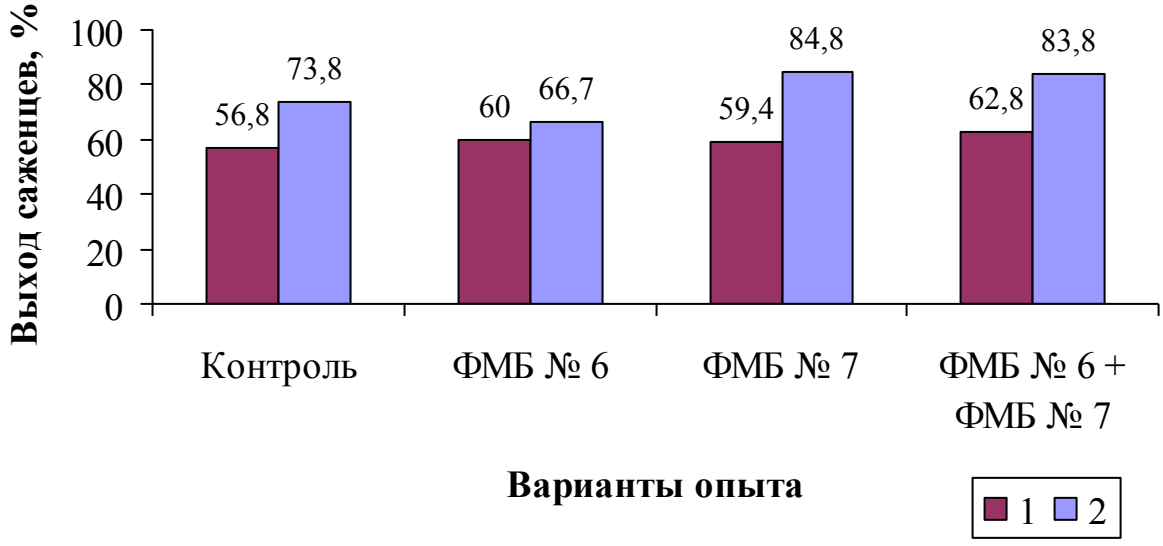

Рисунок 7.5. Воздействие фосфатмобилизующих бактерий на выход саженцев *C. avium* ‘Крупноплодная’; 1 – общее число саженцев (% от числа посаженных подвоев), 2 – доля стандартных саженцев (% от общего числа), 2008–2009 гг.

Все примененные штаммы способствовали увеличению общего выхода саженцев сорта ‘Крупноплодная’, в большей степени смесь ФМБ № 6 + ФМБ № 7 на 6% от числа посеянных семян или на 11% от контроля.

Доля стандартных саженцев в общем количестве увеличивалась под действием ФМБ № 7 и ФМБ № 6 + ФМБ № 7 на 10–11% от общего числа саженцев или на 14–15% относительно контроля.

Таким образом, обработка корневой системы *C. mahaleb* активными штаммами фосфатмобилизующих бактерий увеличивала приживаемость сеянцев, стимулировала ростовые процессы, улучшала зимостойкость и приживаемость глазков *C. avium* ‘Крупноплодная’, привитой на *C. mahaleb*. Предпосадочная обработка сеянцев этого подвоя фосфатмобилизующими бактериями ФМБ № 7 и ФМБ № 6 + ФМБ № 7 увеличивала общий выход саженцев сорта ‘Крупноплодная’ и число стандартных растений на 14–15% относительно неинокулированных растений.

7.2. Мониторинг агрохимических свойств ризосферной почвы плодовых саженцев при использовании микробных препаратов

Почвенные микроорганизмы, интродуцированные в агроценоз плодового питомника, воздействуют не только на растения, поставляя им питательные вещества, стимуляторы роста, улучшая фитосанитарное состояние, но и на свойства почвы [Чайковская, 2000; Лабутова и др., 2003]. Что касается воздействия интродукцированных ассоциативных микроорганизмов в ризосферу культурных растений на свойства почвы, то такие исследования малочисленны, так как микробиологов интересовало, прежде всего, взаимоотношение растения и микроорганизма. Важно определить, как эти процессы отражаются на содержании элементов питания в почве и плодовом растении при выращивании саженцев с применением МП. Мы оценили влияние применения МП на основе ассоциативных бактерий с различными функциями на эффективное плодородие

почвы ризосферы плодовых саженцев [Клименко и др., 2010; Клименко и др., 2011].

Содержание элементов в листьях наиболее объективно свидетельствует о состоянии минерального питания растения [Копитко, 2001; Семенюк, 1983; Церлинг, 1990 и др.], поэтому листовая диагностика — один из способов определения потребности растений в элементах питания, что позволяет корректировать дозы вносимых удобрений. При применении МП необходимо следить за реакцией растения, которая может четко проявиться в изменении содержания элементов минерального питания в листьях [Клименко и др., 2011, 2015]. Содержание элементов питания в листьях может быть индикаторным показателем, отражающим реакцию тест-объектов на воздействие ассоциативных бактерий и возможности растения улучшать потребление элементов питания без внесения высоких доз минеральных удобрений.

***P. dulcis* и *C. mahaleb*.** В полевых многолетних опытах установлено, что содержание нитратного азота в черноземе южном перед закладкой питомника было низким и составило 3–6 мг/кг почвы, концентрация подвижного фосфора колебалась от низкой до оптимальной (20–75 мг/кг), содержание обменного калия было высоким во все годы проведения опытов (482–675 мг/кг). Содержание гумуса в почве составляло 2,64–3,10%, что характерно для черноземов южных, которые давно распаханы и используются в севообороте плодового питомника.

В конце первого года выращивания сеянцев *P. dulcis* в контроле отмечалась тенденция к снижению содержания подвижных форм элементов питания по сравнению с исходной почвой (таблица 7.20). При использовании большинства МП отмечена тенденция к увеличению содержания нитратного азота на 0,9–1,4 мг/кг, особенно значительная при применении Диазофита и Биополицида. Это может быть связано как с азотфиксирующими свойствами бактерий, так и с изменением численности определенных групп микроорганизмов в ризосфере сеянцев, что показано нашими исследованиями [Каменева и др., 2009; Картыжова и др., 2012; Клименко, 2015]. Однако содержание $N–NO_3$ в почве оставалось низким.

Таблица 7.20 – Изменение содержания $N–NO_3$, подвижных форм P_2O_5, K_2O (мг/кг) и гумуса (%) в эдафотопе (слой 0 – 40 см) агроценоза плодового питомника *P. dulcis* и *C. mahaleb* под воздействием МП (2005–2007 гг.)

Вариант	*P. dulcis*				*C. mahaleb*			
	$N–NO_3$	P_2O_5	K_2O	Гумус	$N–NO_3$	P_2O_5	K_2O	Гумус
Контроль	4,2±1,0	23±8	466±73	2,55±0,11	6,4±1,0	42±11	682±8	3,08±0,02
Диазофит	5,6±3,1	27±4	454±18	2,49±0,14	6,6±3,2	37±6	594±24	2,99±0,01
Фосфоэнтерин	4,1±1,8	31±8	431±18	2,43±0,06	6,5±0,1	42±11	600±52	2,91±0,01
Биополицид	5,4±2,3	25±3	442±16	2,51±0,03	6,7±3,4	42±4	597±18	2,92±0,05
КМП	5,1±2,3	24±7	452±34	2,56±0,06	5,8±1,3	50±22	651±61	2,94±0,03
Оптимум для плодовых [Копитко, 2001]	23 – 40	28–38	211–270	-				

Подвижные формы P_2O_5 и K_2O накапливались за счет перевода микроорганизмами труднодоступных соединений этих элементов в подвижное состояние. Наибольшее увеличение концентрации этих элементов произошло при инокуляции семян *P. dulcis* биоагентом Фосфоэнтерина. Это связано с тем, что фосфатмобилизующие микроорганизмы способны выделять фермент фосфатазу, переводящую органические фосфаты в доступное состояние и органические кислоты, растворяющие слаборастворимые минеральные фосфаты [Чайковская, 2004; Smith et al., 1997].

Выращивание сеянцев *C. mahaleb* на контрольном участке сопровождалось увеличением содержания $N–NO_3$ и подвижных форм P_2O_5, K_2O в почве по сравнению с исходным (таблица 7.20). Возможно, это связано с меньшим выносом этих элементов из почвы растениями *C. mahaleb* по сравнению с *P. dulcis*. Применение большинства МП мало повлияло на содержание $N–NO_3$ в ризосферной почве этой культуры. Содержание P_2O_5 и K_2O в эдафотопе снижалось при использовании всех изучаемых МП по сравнению с контролем, однако оставалось на уровне высокого. Все это связано с более интенсивным ростом сеянцев и большим поглощением питательных веществ из почвы.

Содержание гумуса в почве под обеими культурами при применении МП также несколько снизилось по сравнению с контролем. Это может быть вызвано

низким содержание нитратного азота в почве, что стимулирует разложение гумуса бактериями.

Во втором поле питомника концентрация $N–NO_3$ в эдафотопе экосистемы плодового питомника *P. persica* ‘Фаворита Моретти’ и *C. avium* ‘Валерий Чкалов’, заокулированных на подвоях *P. dulcis* и *C. mahaleb* соответственно в контроле оставалась низкой, содержание гумуса — на уровне исходного (табл. 7.21).

Таблица 7.21 – Воздействие МП на содержание подвижных форм элементов питания (мг/кг) и гумуса (%) в почве (слой 0–40 см) агроценоза *P. persica* ‘Фаворита Моретти’ и *C. avium* ‘Валерий Чкалов’

Вариант	$N – NO_3$	P_2O_5	K_2O	Гумус
‘Фаворита Моретти’ (2006 – 2008 гг.)				
Контроль	7,6 ± 3,2	24 ± 2	529 ± 45	2,74 ± 0,03
Диазофит	7,8 ± 2,1	28 ± 1	530 ± 15	2,67 ± 0,19
Фосфоэнтерин	8,4 ± 1,0	27 ± 2	550 ± 18	2,88 ± 0,06
Биополицид	9,5 ± 2,1	27 ± 1	529 ± 13	2,77 ± 0,03
КМП	8,4 ± 1,4	31 ± 3	548 ± 12	2,76 ± 0,05
‘Валерий Чкалов’ (2006 – 2007 гг.)				
Контроль	8,3 ± 1,9	41 ± 5	554 ± 74	2,84 ± 0,01
Диазофит	8,3 ± 2,0	45 ± 4	619 ± 21	3,04 ± 0,26
Фосфоэнтерин	9,3 ± 1,6	46 ± 22	548 ± 13	2,92 ± 0,14
Биополицид	7,8 ± 0,3	35 ± 3	540 ± 42	2,89 ± 0,10
КМП	8,7 ± 0,7	43 ± 11	589 ± 20	3,04 ± 0,12
Примечание – Разница с контролем по всем вариантам несущественна, $p \geq 0,05$.				

Применение всех изученных МП для инокуляции семян *P. dulcis* способствовало увеличению содержания $N–NO_3$ и P_2O_5 в почве под саженцами ‘Фаворита Моретти’ на 3–29% относительно контроля. Содержание K_2O в почве под саженцами увеличивалось при использовании Фосфоэнтерина и КМП на 19–21 мг/кг (3–4%) относительно контроля. Содержание гумуса мало изменялось при использовании МП. При инокуляции семян *P. dulcis* Фосфоэнтерином наметилась тенденция к увеличению содержания гумуса в почве на 0,14%.

В эдафотопе агроценоза питомника *C. avium* ‘Валерий Чкалов’ применение Фосфоэнтерина и КМП способствовало наибольшему увеличению содержания $N–NO_3$ на 0,6–1,0 мг/кг, Диазофита и Фосфоэнтерина — повышало содержание подвижного P_2O_5 на 4–5 мг/кг, Диазофита и КМП — увеличивало концентрацию K_2O — на 35–65 мг/кг и гумуса на 0,20% по сравнению с контролем.

Таким образом, применение МП в первом поле плодового питомника приводило к некоторому накоплению подвижных форм элементов питания в ризосферной почве сеянцев *P. dulcis* и *C. mahaleb*, однако, содержание гумуса в слое 0–40 см снижалось, так как бактерии способны разрушать гумус при недостатке в почве азота в доступных формах. В связи с этим необходимо введение в севооборот питомника полей, занятых многолетними травами или сидератами для пополнения запаса органического углерода и внесение небольших доз азотно-фосфорных удобрений перед закладкой первого поля питомника для доведения содержания этих элементов в почве до оптимального уровня.

Во втором поле под саженцами *P. persica* и *C. avium* в эдафотопе не происходило обеднение элементами питания, несмотря на дополнительное поглощение их из почвы интенсивно растущими саженцами. Микроорганизмы способствовали поддержанию его на определенном уровне за счет азотфиксации и перевода запаса труднодоступных веществ в доступные для растений формы. Лучшими оказались Диазофит, Фосфоэнтерин и КМП. Содержание органического вещества было стабильным под саженцами *P. persica*, а под саженцами *C. avium* наметилась тенденция к его увеличению, особенно при использовании Диазофита и КМП.

Prunus armeniaca. Анализ трехлетних данных агрохимических показателей эдафотопа при выращивании привитых саженцев *P. armeniaca* в плодовом питомнике показал, что под сеянцами в контроле содержание $N–NO_3$ было на уровне оптимального, P_2O_5 — низкое, K_2O — высокое, гумуса — на среднем уровне (таблица 7.22).

Таблица 7.22 – Влияние микробных препаратов на содержание гумуса (%), подвижных форм элементов питания в слое почвы 0–40 см (мг/кг) под сеянцами *P. armeniaca* (2010–2012 гг.)

Вариант	$N–NO_3$	P_2O_5	K_2O	Гумус
Контроль	28,4 ± 9,3	15 ± 3	279 ± 23	2,70 ± 0,18
Азотобактерин	37,8 ± 4,0	16 ± 3	285 ± 25	2,90 ± 0,38
Фосфоэнтерин	29,6 ± 4,0	19 ± 5	285 ± 21	2,88 ± 0,23
КМП	25,1 ± 7,8	16 ± 5	293 ± 30	3,10 ± 0,39

Применение Азотобактерина и Фосфоэнтерина способствовало увеличению содержания $N–NO_3$ в почве на 9,4 и 1,2 мг/кг почвы соответственно, использование КМП — несколько снижало этот показатель. Наметилась тенденция к увеличению содержания P_2O_5 в почве при применении всех МП, особенно заметная при бактеризации семян *P. armeniaca* биоагентом Фосфоэнтарина на 3 мг/кг (27%) или на 14 кг/га, что особенно важно на почвах с низким содержанием подвижного фосфора.

Содержание K_2O в почве при применении всех МП также увеличивалось на 6–14 мг/кг и оставалось высоким. Та же тенденция установлена и для изменения содержания гумуса в ризосфере *P. armeniaca* под действием МП. Оно увеличивалось на 0,18–0,40%, особенно значительно под действием КМП, что составило 15% от содержания гумуса в контрольном варианте.

Таким образом, применение МП оказывало положительное влияние на агрохимические показатели ризосферной почвы сеянцев *P. armeniaca* в плодовом питомнике. Отмечено увеличение содержания $N–NO_3$ под действием Азотобактерина и Фосфоэнтерина, P_2O_5, K_2O и гумуса под влиянием всех МП. Фосфоэнтерин в большей мере увеличивал содержание P_2O_5, КМП — гумуса.

Во втором поле питомника отмечено резкое сокращение содержания $N–NO_3$ в контроле и по вариантам опыта, и оно становилось низким (таблица 7.23).

Таблица 7.23 – Влияние МП на содержание подвижных форм элементов питания (мг/кг) и гумуса (%) в слое почвы 0–40 см под саженцами *P. armeniaca* ‘Крымский Амур’ (2011–2013 гг.)

Вариант	$N - NO_3$	P_2O_5	K_2O	Гумус
Контроль	5,3 ± 0,8	16 ± 5	320 ± 13	2,55 ± 0,17
Азотобактерин	7,7 ± 0,9	16 ± 4	334 ± 23	2,53 ± 0,15
Фосфоэнтерин	9,4 ± 4,0	15 ± 4	333 ± 16	2,69 ± 0,20
КМП	7,9 ± 2,0	16 ± 4	325 ± 23	2,58 ± 0,40

Содержание P_2O_5 в контроле оставалось на том же уровне, что и в первом поле питомника, K_2O — незначительно возросло, гумуса — снижалось. МП способствовали незначительному накоплению нитратного азота в почве на 2,4–4,1 мг/кг по сравнению с контролем. Содержание P_2O_5 не изменялось, K_2O — имело тенденцию к увеличению на 5–14 мг/кг. Количество гумуса было стабильным и только под действием Фосфоэнтерина увеличивалось на 0,14%. Все это происходило на фоне усиления роста и развития саженцев *P. armeniaca* ‘Крымский Амур’, а также увеличения их количества с единицы площади и повышения качества.

P. cerasifera. В полевом опыте установлено, что в первом поле питомника в черноземе южном под сеянцами содержание $N–NO_3$ и K_2O было повышенным, P_2O_5 — низким, гумуса — на среднем уровне (таблица 7.24). Применение МП способствовало повышению содержания $N–NO_3$ в почве на 8,3 (Азотобактерин) и 9,8 мг/кг (Фосфоэнтерин и КМП) в слое 0–40 см, что составляет 40–47 кг/га. Это произошло на фоне улучшения роста и развития сеянцев. Содержание P_2O_5 в почве под сеянцами при использовании Фосфоэнтерина увеличивалось на 2,3 мг/кг за счет фосфатмобилизации, в остальных вариантах имело тенденцию к снижению. Концентрация K_2O в почве под сеянцами при обработке семян МП менялась мало и оставалась высокой. При использовании Азотобактерина и КМП содержание гумуса в почве имело тенденцию к снижению, при применении Фосфоэнтерина оставалось стабильным.

Таблица 7.24 – Изменение содержания подвижных форм элементов питания и гумуса в почве (слой 0–40 см) под действием микробных препаратов под сеянцами и саженцами *P. cerasifera* ‘Обильная’

Вариант	$N – NO_3$	P_2O_5	K_2O	Гумус, %
	мг/кг			
P. cerasifera (2010–2012 гг.)				
Контроль	34,0 ± 5,4	19,4 ± 4,1	264 ± 43	2,72 ± 0,30
Азотобактерин	42,3 ± 12,5	18,0 ± 3,0	260 ± 42	2,62 ± 0,23
Фосфоэнтерин	43,8 ± 15,9	21,7 ± 7,6	271 ± 28	2,73 ± 0,28
КМП	43,8 ± 5,0	16,6 ± 2,4	260 ± 22	2,57 ± 0,23
P. cerasifera ‘Обильная’ (2011–2013 гг.)				
Контроль	8,9 ± 0,9	16,3 ± 2,3	278 ± 8	2,54 ± 0,09
Азотобактерин	13,4 ± 2,0	17,0 ± 7,0	320 ± 30	2,23 ± 0,25
Фосфоэнтерин	10,2 ± 4,6	16,5 ± 3,4	330 ± 15*	2,55 ± 0,03
КМП	9,8 ± 3,8	18,0 ± 2,0	275 ± 10	2,51 ± 0,03
* Разница с контролем существенна, $p \leq 0,05$.				

При выращивании саженцев *P. cerasifera* ‘Обильная’ (второе поле питомника) содержание нитратного азота в почве контроля снижалось по сравнению с первым полем и становилось низким. Это может быть связано с большим выносом азота растущими саженцами, а также вымыванием его в нижние слои почвы весенне-зимними осадками и атмосферной влагой в вегетационный период. Применение МП способствовало увеличению содержания $N–NO_3$ в почве под саженцами ‘Обильная’ на 0,9–4,5 мг/кг, особенно значительному при использовании Азотобактерина на 50,6% по сравнению с контролем.

Содержание P_2O_5 в почве под саженцами ‘Обильная’ в контроле оставалось на низким и мало изменялось под действием МП. Концентрация K_2O в почве контроля под саженцами была высокой и несколько превышала ту, что обнаружена в почве под сеянцами *P. cerasifera*. Применение Азотобактерина и Фосфоэнтерина способствовало увеличению концентрации K_2O в почве, в последнем случае существенному (на 52 мг/кг).

Содержание гумуса в контроле второго поля питомника под саженцами *P. cerasifera* ‘Обильная’ снижалось по сравнению с первым полем на 0,18%.

Применение Фосфоэнтерина стабилизировало содержание гумуса в почве. Использование Азотобактерина и КМП приводило к его снижению в почве по сравнению с контролем. Это может быть связано с недостатком органического углерода и азота для питания интенсивно развивающихся микроорганизмов и потреблением его из гумуса.

Таким образом, бактеризация семян *P. cerasifera* перед посевом биоагентами МП способствовала увеличению содержания $N–NO_3$, а Фосфоэнтерина также — P_2O_5 и K_2O в ризосферной почве сеянцев и саженцев этого растения. Снижение содержания гумуса в почве при значительном повышении выхода саженцев с гектара при использовании Азотобактерина и КМП свидетельствует о необходимости применения органических удобрений и субстратов (навоз, солома), введения сидератов или многолетних трав в севооборот питомника для пополнения запаса органического вещества в почве. Применение Фосфоэнтерина как биоудобрения в агроценозе питомника *P. cerasifera* стабилизировало его содержание в почве.

Азотобактерин и КМП можно рекомендовать для обработки семян *P. cerasifera* перед посевом для повышения эффективности выращивания саженцев этой культуры в плодовом питомнике при постоянном насыщении почвы органическим веществом.

7.3. Изменение содержания элементов питания в листьях сеянцев и саженцев растений *Prunus* под действием микробных препаратов

Изучение содержания элементов питания в листьях молодых плодовых растений в питомнике показывает, что в контрольных листьях сеянцев ***P. dulcis*** содержание азота составило 2,95% сухой массы, что находилось в пределах оптимального [Методические рекомендации по применению удобрений…, 1974]. Содержание валового P_2O_5 в листьях было низким, K_2O – оптимальным (таблица 7.25). Применение МП вызвало снижение содержание азота в листьях сеянцев миндаля. При этом отмечено некоторое увеличение содержания $N–NO_3$ в почве

под соответствующими вариантами, но содержание его оставалось низким и не обеспечивало потребности в азоте интенсивно растущих сеянцев (таблица 7.20).

Таблица 7.25 – Содержание валовых форм N, P_2O_5 и K_2O в листьях сеянцев *P. dulcis* и саженцев *P. persica* ‘Фаворита Мореттини’ (% на сухую массу)

Вариант	N	P_2O_5	K_2O
P. dulcis (2005–2006 гг.)			
Контроль	2,95 ± 0,05	0,24 ± 0,05	2,02 ± 0,02
Диазофит	2,70 ± 0,20	0,22 ± 0,02	1,95 ± 0,25
Фосфоэнтерин	2,70 ± 0,05	0,22 ± 0,02	2,25 ± 0,00*
Биополицид	2,70 ± 0,10	0,20 ± 0,02	2,05 ± 0,00
КМП	2,25 ± 0,15	0,31 ± 0,02	1,95 ± 0,25
P. persica ‘Фаворита Мореттини’ (2006–2007 гг.)			
Контроль	2,35 ± 0,01	0,34 ± 0,01	3,85 ± 0,05
Диазофит	3,10 ± 0,01**	0,40 ± 0,08	3,40 ± 0,60
Фосфоэнтерин	3,85 ± 0,05**	0,58 ± 0,05*	3,10 ± 0,05*
Биополицид	2,35 ± 0,05	0,38 ± 0,05	3,40 ± 0,00*
КМП	3,30 ± 0,20*	0,34 ± 0,01	3,70 ± 0,05
Оптимум для *P. persica* [Семенюк, 1983]	3,7–4,0	0,5–0,6	1,7–3,5
* Разница с контролем существенна, $p \leq 0,05$: ** – $p \leq 0,01$.			

Концентрация P_2O_5 в листьях сеянцев *P. dulcis* при применении большинства биопрепаратов менялась незначительно. И только использование КМП привело к увеличению его содержания в листьях на 29% относительно контроля. Концентрация K_2O в листьях в большинстве вариантов опыта мало отличалась от контрольной, Фосфоэнтерин способствовал достоверному увеличению ее на 11% относительно контроля.

В листьях саженцев *P. persica* ‘Фаворита Мореттини’ (второе поле питомника) содержание элементов минерального питания в контроле и по вариантам опыта было выше, чем в листьях подвоя *P. dulcis* (таблица 7.25). Это определялось воздействием привоя на поглощение и обмен элементов питания в растении. В контрольном варианте в листьях ‘Фаворита Мореттини’ ощущался недостаток N и P_2O_5, содержание K_2O было высоким, что отражало

обеспеченность почвы этими элементами. Применение Диазофита, Фосфоэнтерина и КМП привело к значительному и достоверному увеличению содержания N в листьях на 0,50–0,95% сухой массы листа, что улучшало рост саженцев. Диазофит, Фосфоэнтерин и Биополицид способствовали улучшению питания растений P_2O_5. Бактеризация семян *P. dulcis* штаммом фосфатмобилизатором биоагентом Фосфоэнтерина способствовала существенному увеличению содержания P_2O_5 в листьях на 0,24% сухой массы до оптимального уровня.

Применение МП приводило к снижению содержания K_2O в листьях, что может быть вызвано не недостатком этого элемента в почве, а взаимоотношением элементов в самом растении. Так известно [Эммерт, 1964], что увеличение содержания азота в листьях может ингибировать поглощение калия. Однако, содержание K_2O в листьях *P. persica* ‘Фаворита Моретти’ оставалось в оптимальных пределах [Семенюк, 1983]. Применение Фосфоэнтерина снижало его достоверно по отношению к контролю, и таким образом оптимизировало соотношение элементов в листьях.

Таким образом, анализ полученных данных по минеральному питания саженцев *P. persica* в агроценозе плодового питомника на черноземах южных показал, что применение МП привело к снижению содержания азота в листьях сеянцев *P. dulcis*. Это может быть связано с усилением роста растений под действием стимуляторов роста, выделяемых интродуцированными бактериями на фоне низкого содержания $N–NO_3$ в почве. Это свидетельствует о том, что при применении МП необходимо внесение небольших доз минерального азота в виде подкормки весной в первом поле питомника для оптимизации его содержания в почве.

При выращивании саженцев (второе поле питомника) наблюдалось более благоприятное воздействие МП на минеральное питание саженцев азотом и фосфором по сравнению с сеянцами. Содержание калия в листьях несколько снижалось, но оставалось высоким. Оптимальное содержание элементов питания в листьях саженцев сорта ‘Фаворита Моретти’ сложилось при использовании

Фосфоэнтерина и КМП. Учитывая то, что применение этих МП стимулировало рост и развитие саженцев, эти препараты могут быть использованы для обработки семян *P. dulcis* перед посевом с внесением небольших доз фосфорных удобрений перед закладкой первого поля питомника дозой 30–50 кг/га и подкормки саженцев нитратным азотом весной в первом и втором полях той же дозой 50 кг/га.

Cerasus mahaleb. Содержание элементов питания в листьях сеянцев *C. mahaleb* (первое поле питомника) по азоту и фосфору было оптимальным, калию — низким (таблица 7.26).

Таблица 7.26 – Влияние микробных препаратов на содержание NPK в листьях сеянцев *C. mahaleb* и саженцев *C. avium* ‘Валерий Чкалов’ (% на сухую массу), 2005–2006 гг.

Вариант	N	P_2O_5	K_2O
C. mahaleb			
Контроль	2,92 ± 0,02	0,42 ± 0,01	1,08 ± 0,05
Диазофит	3,65 ± 0,15*	0,36 ± 0,02	1,20 ± 0,00
Фосфоэнтерин	3,00 ± 0,30	0,29 ± 0,03*	1,38 ± 0,05
Биополицид	2,75 ± 0,35	0,38 ± 0,02	1,55 ± 0,04*
КМП	2,00 ± 0,00*	0,46 ± 0,04	1,55 ± 0,04*
C. avium ‘Валерий Чкалов’			
Контроль	2,12 ± 0,37	0,45 ± 0,05	1,90 ± 0,01
Диазофит	1,80 ± 0,55	0,36 ± 0,06	1,85 ± 0,05
Фосфоэнтерин	2,00 ± 0,00	0,42 ± 0,05	1,90 ± 0,05
Биополицид	2,19 ± 1,10	0,46 ± 0,04	1,80 ± 0,01*
КМП	2,18 ± 0,92	0,45 ± 0,05	1,80 ± 0,10
Оптимум для *C. avium* [Копитко, 2001]	2,5–3,0	0,4–0,5	1,8–2,0
* Разница с контролем существенна, $p \leq 0,05$.			

Применение Диазофита способствовало существенному увеличению содержания N в листьях *C. mahaleb* на 25% от контроля, Фосфоэнтерина – также несколько увеличивало эту величину. Использование КМП существенно снижало содержания N. Это связано с уменьшением содержания нитратного азота в почве и усилением роста сеянцев под действием КМП.

Концентрация P_2O_5 в листьях снижалась под действием большинства МП и становилась ниже оптимальной. При использовании КМП она увеличивалась, вероятно, за счет антагонизма азота и фосфора в листьях ($r = –0,86$, $n = 4$). Содержание валовых форм K_2O в листьях *C. mahaleb* увеличивалось при применении всех МП, особенно значительно и достоверно увеличивали его Биополицид и КМП.

Таким образом, применение Диазофита и Фосфоэнтерина способствовало накоплению N в листьях *C. mahaleb*. КМП оптимизировал ее минеральное питание по P_2O_5 и K_2O. Слабое влияние МП в первом поле питомника объясняется периодом накопления биомассы самих микроорганизмов, которые при этом поглощают дополнительные количества элементов питания.

***Cerasus avium*.** В контрольных листьях саженцев *C. avium* ‘Валерий Чкалов’, привитых на *Cerasus mahaleb* содержание валового N было низким, P_2O_5 и K_2O — оптимальным (таблица 7.26). Применение Диазофита привело к снижению содержания элементов питания в листьях, Фосфоэнтерина — снижению N и P_2O_5, Биополицида и КМП способствовало их незначительному увеличению. При этом содержание подвижных форм элементов питания в почве повышалось. Можно предположить, что снижение содержания элементов питания в листьях при применении МП связано не с ухудшением минерального питания, а с увеличением биомассы саженцев за счет ростстимулирующих свойств примененных микроорганизмов. Так в частности активный штамм *Enterobacter nimipressuralis-32-3*, на базе которого создан препарат Фосфоэнтерин, продуцирует стимулятор роста β-индолилуксусную кислоту [Чайковская, 2004].

Таким образом, применение МП при выращивании саженцев *C. avium* не требует внесения дополнительных доз минеральных удобрений в двухлетнем цикле. Препараты Биополицид и КМП способствовали накоплению азота в листьях черешни при улучшении роста, развития, повышения зимостойкости глазков и увеличения выхода стандартного посадочного материала *C. avium*. При этом создавалась тенденция к накоплению подвижных форм элементов питания в почве.

***P. armeniaca*.** Исследования содержания элементов питания в листьях сеянцев этого растения и саженцев сорта ‘Крымский Амур’ свидетельствуют о том, что концентрация N и P_2O_5 в листьях сеянцев на контроле была ниже оптимальной, калия — на оптимальном уровне (таблица 7.27).

Таблица 7.27 – Влияние микробных препаратов на содержание элементов питания в листьях (% сухой массы) сеянцев и саженцев *P. armeniaca* ‘Крымский Амур’ (2011–2013 гг.)

Вариант	N	P_2O_5	K_2O
P. armeniaca			
Контроль	1,99 ± 0,01	0,37 ± 0,01	2,29 ± 0,17
Азотобактерин	2,13 ± 0,01*	0,36 ± 0,01	2,05 ± 0,31
Фосфоэнтерин	2,08 ± 0,08	0,38 ± 0,01	2,24 ± 0,17
КМП	2,10 ± 0,10	0,36 ± 0,01	2,17 ± 0,29
P. armeniaca ‘Крымский Амур’			
Контроль	1,66 ± 0,04	0,44 ± 0,01	2,65 ± 0,29
Азотобактерин	1,77 ± 0,07	0,45 ± 0,05	3,42 ± 0,24
Фосфоэнтерин	2,13 ± 0,10*	0,44 ± 0,03	3,04 ± 0,75
КМП	2,00 ± 0,01*	0,48 ± 0,05	3,53 ± 0,47
Оптимум для *P. armeniaca* [Семенюк, 1983]	2,8–3,2	0,40–0,60	2,0–2,8

Применение биоагентов МП для инокуляции семян *P. armeniaca* приводило к увеличению содержания N в листьях сеянцев, особенно значительному и достоверному на 0,14% при применении Азотобактерина, что связано с увеличением содержания этого элемента в почве под действием этого препарата. Содержание P_2O_5 в листьях сеянцев мало изменялось при применении МП, K_2O несколько снижалось, но оставалось в пределах оптимального.

Таким образом, применение МП положительно влияло на питание сеянцев *P. armeniaca* азотом в первом поле питомника, особенно эффективным оказался Азотобактерин.

Во втором поле питомника в листьях саженцев *P. armeniaca* ‘Крымский Амур’, привитых на *P. armeniaca* содержание валового N в контроле было очень

низким, что связано со снижением и недостатком $N–NO_3$ в почве под саженцами (таблица 7.23). Все примененные МП увеличивали содержание N в листьях на 0,11–0,47% сухой массы листа по сравнению с контролем. Наиболее значительно и достоверно это увеличение произошло под действием Фосфоэнтерина и КМП.

Содержание P_2O_5 в листьях саженцев *P. armeniaca* ‘Крымский Амур’ в контроле было выше, чем в листьях сеянцев этой культуры, МП мало влияли на его концентрацию, и она оставалась оптимальной. Содержание K_2O в листьях в контроле также было на уровне оптимального. Под действием МП оно значительно увеличивалось, особенно под действием Азотобактерина и КМП на 0,77–0,88% сухой массы листа или на 29–33% от контроля и его содержание становилось высоким.

Таким образом, применение биоагентов МП для инокуляции семян *P. armeniaca* при выращивании привитых саженцев приводило к улучшению питания саженцев основными элементами. Особенно эффективно это обеспечивали Азотобактерин и КМП, что и способствовало улучшению качества и адаптивности посадочного материала.

***Prunus cerasifera*.** Содержание элементов минерального питания в листьях сеянцев *P. cerasifera* в контроле было оптимальным по N и P_2O_5 и низким по K_2O (таблица 7.28). Применение МП привело к некоторому уменьшению содержания N в листьях сеянцев. Возможно, это связано с более интенсивным ростом сеянцев за счет выделения бактериями ауксинов. Содержание P_2O_5 в листьях сеянцев *P. cerasifera* под действием МП менялось мало, концентрация K_2O имела тенденцию к увеличению под действием Азотобактерина и КМП.

В листьях саженцев *P. cerasifera* ‘Обильная’ в контроле содержание N было ниже, P_2O_5 — выше, а K_2O — на том же уровне, что и у сеянцев. Применение МП приводило к незначительному увеличению содержания основных элементов питания в листьях. При этом содержание $N–NO_3$ в почве не снижалось и происходило усиление роста сеянцев и саженцев.

Таблица 7.28 – Влияние МП на содержание элементов питания в листьях (% сухой массы) сеянцев и саженцев *P. cerasifera* ‘Обильная’ (2011–2013 гг.)

Вариант	N	P_2O_5	K_2O
P. cerasifera			
Контроль	2,40 ± 0,22	0,41 ± 0,03	2,25 ± 0,22
Азотобактерин	2,26 ± 0,10	0,40 ± 0,02	2,26 ± 0,10
Фосфоэнтерин	2,33 ± 0,23	0,40 ± 0,03	2,22 ± 0,25
КМП	2,13 ± 0,12	0,39 ± 0,02	2,31 ± 0,24
P. cerasifera ‘Обильная’			
Контроль	2,06 ± 0,36	0,46 ± 0,05	2,19 ± 0,24
Азотобактерин	2,11 ± 0,39	0,51 ± 0,06	2,33 ± 0,25
Фосфоэнтерин	2,13 ± 0,36	0,44 ± 0,05	2,31 ± 0,20
КМП	2,19 ± 0,49	0,49 ± 0,08	2,30 ± 0,28
Оптимум для *P. domestica* [Копитко, 2001]	2,4–3,2	0,35–0,50	2,8–3,1

Следует отметить, что оптимальное содержание азота и калия, приведенное в литературе для *P. domestica* по азоту и калию [Копитко, 2001] было более значительным, чем определенное нами для растений *P. cerasifera*. Возможно, такое содержание элементов питания в листьях этого растения можно принять за допустимое, в связи с меньшей потребностью *P. cerasifera* в элементах минерального питания по сравнению с *P. domestica*.

Таким образом, применение Азотобактерина и КМП оптимизировало минеральное питание саженцев *P. cerasifera*. В связи с вышесказанным, лучшим для выращивания привитых саженцев *P. cerasifera*, судя по содержанию элементов питания в листьях и их подвижных форм в почве, а также по состоянию растений, является использование Азотобактерина и КМП для бактеризации семян перед посевом.

Таким образом, активизация микробно-растительных ассоциаций в садовом агроценозе путем применения МП и активных штаммов ФМБ способствовала повышению всхожести семян и приживаемости сеянцев плодовых растений, стимулировала ростовые процессы, улучшала питание растений азотом и фосфором. В ризосферной почве увеличивалось содержание элементов питания и

гумуса без дополнительного внесения минеральных удобрений. Наиболее интенсивно эти процессы происходили во второй год выращивания саженцев. Степень ассоциации растения и микроорганизма была видоспецифичной. Наиболее эффективным было взаимодействие растений *Prunus persica* и *Cerasus avium* и биоагента препарата Фосфоэнтерин, а также активного штамма ФМБ № 7. Для саженцев *Prunus armeniaca* и *Prunus cerasifera* наиболее продуктивной была ассоциация с биоагентами препаратов Азотобактерин и Комплекса микробных препаратов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе приведены результаты многолетних исследований процессов негативного антропогенного влияния в системе климатоп - эдафотоп - фитоценоз плодового сада и питомника в условиях степного Крыма. К негативным явлениям, которые в современных условиях наименее изучены и отрицательно влияют на состояние, устойчивость и продуктивность садовых агроценозов в степном Крыму относятся: загрязнение воздуха (кислотные осадки), ощелачивание, дегумификация и снижение плодородия почв. Изложены агроэкологические основы и комплексное решение проблем негативного влияния указанных явлений в садоводстве путем их минимизации или устранения их негативного влияния и оптимизации садового агроценоза. Последняя предполагает использование ряда приемов и способов, основанных на применении адаптивного подхода и биологизации агроценозов плодового сада и питомника. Применение адаптивного подхода выражается в использовании или разработке объективных критериев оценки устойчивости плодовых культур к воздействию негативных факторов, подборе наиболее устойчивых или адаптированных сортов и пород плодовых растений и предложениям по рациональному их размещению в зависимости от экологических условий.

Объективными критериями оценки реакции растения на стресс являются показатели роста (окружность штамба, общий прирост однолетних побегов, общее состояние дерева) и физиологические показатели состояния растений (содержание аскорбиновой кислоты, общей редуцирующей активности ткани листа, элементов питания в листьях). Согласно этим критериям проводится оценка реакции плодовых растений, определяются пороговые величины и допустимые значения неблагоприятных факторов воздуха и почвы. На основании тестирования большого ряда сортов различных плодовых культур отбираются наиболее адаптированные к данным условиям генотипы, способные без дополнительных вложений антропогенной энергии (удобрения, орошение, механические обработки) обеспечивать высокую и стабильную продуктивность при пороговых значениях неблагоприятных факторов среды. На основании оценки почв по содержанию соды и вредных щелочных солей и

атмосферных осадков по величине pH и концентрации кислотообразующих ионов определяются наиболее пригодные участки или территории для размещения плодовых агроценозов с учетом устойчивости (адаптивности) сортов и пород плодовых растений к токсичной щелочности и кислотным осадкам. Таким образом, обеспечивается рациональное размещение плодовых культур в зависимости от их адаптивного потенциала и устойчивости к негативным факторам окружающей среды.

В том случае, если величина ощелачивания почв превышает предел устойчивости растения, т.е. способности сохранять продуктивность на уровне 70-80% от полученой в оптимальных условиях [Иванов и др., 1998], рекомендуется мелиорация почв. Мелиорация проводится гипсосодержащими, гипсо- и кислотообразующими веществами (гипс, фосфогипс, железный купорос и др.), с учетом нейтрализации токсичной щелочности до допустимых или реально оптимальных величин содержания соды и гидрокарбонатов натрия и магния для плодовых растений. Мелиоранты кроме прямого мелиоративного эффекта, способствуют повышению содержания водорастворимого кальция, гипса, подвижных форм элементов питания в почве, что также повышает устойчивость и продуктивность плодовых растений.

Оптимизация садового агроценоза базируется также на его биологизации. Под биологизацией понимается мобилизация внутренних, возобновляемых ресурсов агроэкосистемы и минимизация вложений антропогенной энергии. Это достигается за счет снижения использования минеральных удобрений, пестицидов, уменьшения интенсивности обработки почвы и повышения роли севооборотов, посева сидератов, применения органических удобрений. Важным моментом биологизации является повышение биоразнообразия и активизация растительно-микробного взаимодействия для снабжения растений биологическим азотом за счет азотфиксации в агроценозах плодового сада и питомника.

В данной работе разработана система биологизации садового агроценоза путем введения севооборота озимых сидератов (смена полей злаковых, бобовых, крестоцветных культур и смесей злаков с бобовыми) в междурядия сада. Сидераты применяются в условиях недостаточной водообеспеченности садовых агроценозов в степном Крыму из-за засушливости климата и недостатка поливной воды, что является

актуальным в современных условиях. Время пребывания сидератов в агроценозе — осенне-зимне-весенний период. В это время, когда вероятность проявления эрозионных процессов (выдувание, смыв) максимальна, они защищают поверхность почвы от эрозии, способствуют накоплению влаги, препятствуют развитию сорной растительности, т.е. занимают определенную экологическую нишу в агроценозе. За счет поглощения элементов питания, корни сидератов препятствуют их вымыванию за пределы почвенного профиля и загрязнению окружающей среды После запахивания сидеральные травы возвращают накопленную в тканях влагу и питательные вещества в почву, создают определенный мульчирующий слой. Разлагаясь в почве, травы сидератов способствуют накоплению гумуса, улучшению структуры почвы, повышению ее водопрочности, увеличению содержания нитратного азота и обменного калия без дополнительного внесения минеральных удобрений. Концентрация подвижного фосфора в почве в период роста сидератов снижается, затем, во время их разложения, восстанавливается до исходной. В связи с этим для лучшего питания трав фосфором рекомендуется внесение небольших стартовых доз фосфорных удобрений (10 кг/га) при посеве сидератов.

Одним из путей биологизации агроценоза плодового питомника является активизация в нем мутуалистических взаимоотношений. Они выражаются в усилении растительно-микробных ассоциаций, при которых микроорганизмы, вступающие в ассоциацию с плодовыми растениями, способны к биологической азотфиксации и переводу труднорастворимых форм фосфора в доступное растениям состояние. Растения используют часть энергии фотосинтеза для поддержания этих ассоциативных связей. Однако такие взаимоотношения фито- и микробоценоза способствует не только улучшению питания растений основными элементами, но и позволяют экономить энергию на производство и внесение минеральных удобрений и защищают природную среду от загрязнения ими. Кроме того, бактерии, находящиеся в ассоциации с растениями, выделяют физиологически активные вещества (антибиотики, витамины, ферменты, стимуляторы роста), способствующие повышению устойчивости организма, снижению вредного влияния патогенов, что также способствует оптимизации среды их обитания.

Основные теоретические, методические и практические результаты диссертационной работы, обладающие научной новизной, сводятся к следующим выводам, рекомендациям производству и предложениям по дальнейшей разработке темы.

Выводы

1. Сформулированы научные основы оптимизации садовых агроценозов степного Крыма, которые включают систему агроэкологических приемов рационального размещения, повышения адаптивности агроценозов, допустимые значения лимитирующих факторов экотопа, оценку устойчивости пород и сортов плодовых растений к кислотным осадкам и ощелачиванию почв, а также повышение устойчивости и продуктивности агроценозов путем мелиорации, применения севооборота сидератов и микробных препаратов.

2. Установлено усиление подкисления атмосферных осадков в южной части Центрально-Крымской возвышенной пологоволнистой равнины в теплое время года до величин pH 3,7–4,0. Выявлено, что в этот период года подкисление определялось ростом концентрации иона NO_3^-, в холодный период — ионов SO_4^{2-} и NO_3^-.

3. Кислые атмосферные осадки с величиной pH ≤ 4 вызывают повреждение цветков, листовых пластинок, угнетение роста побегов, снижение продуктивности плодовых растений: *P. persica*, *P. armeniaca*, *P. cerasifera* и *P. domestica*. Характер повреждений и критическая величина повреждающего воздействия зависят от сорта плодовой культуры и состава дождя.

4. Установлено, что для сортов *P. persica* и *P. armeniaca* с ранним созреванием плодов (‘Фаворита Моретти’, ‘Приусадебный’ и др.) наиболее чувствительных к КО, при остром кратковременном воздействии, допустимой является величина кислотного дождя сульфатного состава с pH 4, нитратного — pH 3; для более поздних и устойчивых сортов ‘Докторский’ и ‘Крымский Амур’

— pH 3, для сортов *P. cerasifera* и *P. domestica* (‘Обильная’, ‘Стенлей’ и др.) таким порогом является величина pH 2 при любом составе дождя.

5. Предложен показатель антиоксидантной активности (ПАОА) ткани листа, отражающий реакцию растения на кислотный стресс. На его основе разработана шкала устойчивости сортов и пород плодовых культур к кислотным осадкам, позволяющая осуществлять рациональное их размещение в районах с повышенным содержанием поллютантов в воздухе. По степени устойчивости к КО изученные виды растений составили следующий ряд: слива > алыча > абрикос > персик. Сорта, имеющие ПАОА ниже 100, отнесены в группу чувствительных и слабоустойчивых, выше 100 — к среднеустойчивым и устойчивым к КО. Среди сортов в пределах вида, как правило, наименее устойчивыми были сорта раннего срока созревания.

6. Установлено, что одним из лимитирующих факторов размещения садовых агроценозов в степном Крыму является локальное ощелачивание почв при орошении пресными водами, содержащими соду и гидрокарбонаты натрия и магния. Выявлено, что в орошаемых почвах повышение токсической щелочности выше допустимого уровня наблюдалось на большей части обследованных массивов. Пригодными для создания садов яблони, персика и черешни, оказались лишь 18–54% черноземов южных (агрочерноземов сегрегационных), черноземов южных мицелярно-карбонатных (агрочерноземов миграционно-сегрегационных) на лессовидных породах и лугово-черноземных карбонатных плантажированных почв (агрочерноземов сегрегационных карбонатных квазиглеватых турбированных) на древнем глинистом аллювии.

7. Впервые установлены реально оптимальные (0,03–0,14 смоль(экв)/кг) и допустимые (0,14–0,40 смоль(экв)/кг) концентрации гидрокарбонатов натрия и магния в почве для *Prunus cerasifera*. Выявлены устойчивые к ощелачиванию почв сорта: ‘Десертная’, ‘Оленька’, ‘Субхи Ранняя’ и др.

8. Модифицированы способы и приемы применения фосфогипса и железного купороса для улучшения почв под садами степного Крыма, подверженными ощелачиванию. Внесение мелиорантов на поверхность почвы и на глубину 50 см в

дозах 4–5 т/га способствовало усилению роста и увеличению продуктивности сортов *Prunus persica,* положительно воздействовало на свойства почв.

9. Установлено, что при введении севооборота озимых сидератов в садовый агроценоз *Malus domestica* в условиях пониженной водообеспеченности происходило ежегодное поступление в почву до 6 т/га сухой массы трав, улучшение структуры почвы и увеличение ее водопрочности, снижение плотности сложения, увеличение запасов продуктивной влаги, гумуса, нитратного азота и обменного калия. Это способствовало повышению продуктивности агроценоза *M. domestica* на 18%.

10. Показано, что обогащение микробного ценоза ризосферной почвы плодовых растений активными штаммами бактерий, входящих в микробные препараты, способствовало увеличению всхожести семян, зимостойкости глазков, усилению роста, улучшению обеспеченности растений элементами питания, повышению качества саженцев без дополнительного внесения минеральных удобрений.

11. Выявлена специфичность видов плодовых растений к ассоциации с интродуцированными бактериями. По комплексу показателей отобраны следующие микробные препараты и фосфатмобилизующие бактерии, повышающие продуктивность плодового питомника на 7–45%: Фосфоэнтерин и ФМБ № 7 — для *Prunus persica* и *Cerasus avium*; Азотобактерин и Комплекс микробных препаратов, состоящий из препаратов Диазофит, Фосфоэнтерин и Биополицид, — для *Prunus cerasifera* и *Prunus armeniaca*.

Рекомендации производству

1. Для рационального размещения садовых агроценозов в районах с загрязнением воздуха кислотными осадками рекомендуется использовать разработанную нами шкалу относительной устойчивости плодовых растений для подбора наиболее адаптивных видов и сортов. В селекционном процессе для оценки устойчивости генотипа к кислотному стрессу на стадии гибридных сеянцев рекомендуется использовать показатель антиоксидантной активности ткани листа.

2. Наиболее благоприятными почвами в степном Крыму в условиях ощелачивания и отсутствия других лимитирующих факторов для размещения садов яблони, персика и черешни, являются лугово-черноземные карбонатные (агрочерноземы сегрегационные карбонатные квазиглеватые), лугово-каштановые (агрокаштановые квазиглееватые) и каштаново-луговые слабосолонцеватые (агрогумусово-квазиглеевые слабосолонцеватые) почвы на лёссовидных породах. Не рекомендуется проведение плантажной вспашки на этих почвах перед закладкой сада, так как это способствует их ощелачиванию.

3. Если в почве содержание токсичных щелочных солей выше допустимого для плодовых культур, почву необходимо мелиорировать. Для мелиорации следует использовать фосфогипс и железный купорос в дозах, рассчитанных на полную нейтрализацию соды и гидрокарбонатов натрия и магния в слое 0–150 см и снижение содержания обменного натрия до нетоксичных пределов.

4. С целью повышения устойчивости и продуктивности садового агроценоза в степном Крыму при недостаточном водообеспечении следует применять севооборот озимых сидератов с включением злаковых, бобовых, крестоцветных травянистых растений и смесей злаков с бобовыми травами. Это способствует сохранению влаги, улучшению физических и физико-химических свойств почвы, повышению плодородия, торможению процессов дегумификации, что приводит к повышению продуктивности зимних сортов яблони.

5. В агроценозе плодового питомника на черноземах южных (агрочерноземах сегрегационных) рекомендуется применение микробных препаратов и активных штаммов бактерий фосфатмобилизаторов для повышения всхожести семян и приживаемости сеянцев, улучшения питания растений, усиления их роста, увеличения выхода стандартного посадочного материала, повышения плодородия почвы на фоне низких норм минеральных удобрений. При выращивания саженцев *Prunus persica* и *Cerasus avium* наиболее эффективным будет применение Фосфоэнтерина и бактериального штамма ФМБ № 7, для *Prunus armeniaca* и *Prunus cerasifera* — Азотобактерина и Комплекса микробных препаратов.

Перспективы дальнейшей разработки темы

При дальнейших исследованиях негативного влияния загрязнения воздуха на плодовые растения необходимо изучить влияние кислотных осадков на семечковые плодовые культуры (яблоня, груша) в данном регионе, а также уделить внимание негативному воздействию повышенных концентраций озона и токсичных углеводородов на плодовые растения.

При исследованиях в системе почва – плодовое растение перспективной будет разработка проблемы устойчивости новых сортов и сорто-подвойных комбинаций различных плодовых культур к ощелачиванию и другим неблагоприятным проявлениям антропогенного влияния на почвы. В садовом агроценозе необходимо изучить обогащение биоразнообразия нижнего яруса агроценоза путем введения многолетних трав (сеянных и сегетальных) и их сочетаний с применением микробных препаратов в условиях степного Крыма при дефиците атмосферных осадков и поливной воды и использовании новых адаптированных к данным условиям экологически устойчивых сортов плодовых культур.

Перспективным будет также изучение влияния активных штаммов микроорганизмов и микробных препаратов, созданных на их основе, в садовых агроценозах степного Крыма для повышения их устойчивости к биотическим и абиотическим стрессорам, получения стабильных и высоких урожаев плодов высокого качества при снижении химической нагрузки. Важным является вопрос воздействия вносимых с биопрепаратами бактерий на микробный ценоз почвы и его регулирование для улучшения питания, роста и биозащиты плодовых растений.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АК	Аскорбиновая кислота
АМГ	Арбускулярно-микоризные грибы
АОА	Антиоксидантная активность ткани листа
АОС	Антиоксидантная система
ВГТ	Восстановленный глутатион
ГТ	Глутатион
ИКД	Искусственный кислотный дождь
КМП	Комплекс микробных препаратов
КД	Кислотный дождь
КО	Кислотные осадки
КС	Кислотный стресс
МП	Микробные препараты
ОРА	Общая редуцирующая активность
ОШ	Окружность штамба
pH	Водородный показатель
ПАОА	Показатель антиоксидантной активности ткани листа
ППК	Почвенный поглощающий комплекс
СМ	Сырая масса
СО НБС – ННЦ	Степное отделение Никитского ботанического сада – Национального научного центра
ТМ	Тяжелые металлы
УГВ	Уровень грунтовых вод
ФМБ	Фосфатмобилизующие бактерии

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов, В.Г. Содержание почвы в интенсивных садах яблони на слаборослых подвоях / В.Г. Абрамов // Садоводства, виноградарство и виноделие Молдавии. – 1981. – № 5. – С. 26–27.

2. Абрикос ; ред. В.К. Смыков / Всесоюз. Акад. с.-х. наук им. В.И. Ленина. – М. : Агропромиздат, 1989. – 240 с.

3. Агроклиматический справочник по Крымской области. – Л. : Гидрометеоиздат, 1959. – 136 с.

4. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий ; под ред. В.И. Кирюшина и А.Л. Иванова. – М., 2005. – 784 с.

5. Агроэкология / В.А. Черников, Р.М. Алексахин, А.В. Голубев и др. ; под. ред. В.А. Черникова, А.И. Чекереса. – М. : Колос, 2000. – 536 с.

6. Агроэкология. Методология, технология, экономика ; под ред. В.А. Черникова, А.И. Чекереса. – М. : Колос, 2004. – 400 с.

7. Александрова, Л.Н. Лабораторно-практические занятия по почвоведению / Л.Н. Александрова, О.А. Найденова. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л. : Агропромиздат. Ленингр. отделение, 1986. – 295 с.

8. Антипов-Каратаев, И.Н. Влияние длительного орошения на почвы / И.Н. Антипов-Каратаев, В.Н. Филиппова. – М. : Изд-во АН СССР, 1955. – 204 с.

9. Антипов-Каратаев, И.Н. Вопросы происхождения и географического распространения солонцов СССР / И.Н. Антипов-Каратаев // Мелиорация солонцов в СССР. М. : Изд-во АН СССР, 1953. – С. 11 – 265.

10. Антропогенная эволюция черноземов; под ред. А.П. Щербакова, И.И. Васенева. – Воронеж, 2000. – 409 с.

11. Антюфеев, В.В. Справочник по климату Степного отделения Никитского ботанического сада / В.В. Антюфеев, В.И. Важов, В.А. Рябов. – Ялта, 2002. – 88 с.

12. Асадулаев, З.М. Выращивание клоновых подвоев и саженцев яблони, груши и айвы / З.М. Асадулаев, Г.Д. Юсупов. – Махачкала: ДГПУ, 2005. – 224 с.

13. Асадулаев З.М. Фитоиндикационная оценка основных показателей морфолого-анатомических признаков побегов *Platanus orientalis* L. в условиях города Махачкалы / З.М. Асадулаев, З.Р. Рамазанова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. – № 1(9), – С. 2170–2173.

14. Асадулаев, З.М. Адаптивные структурно-функциональные особенности побегов древесных растений г. Махачкалы / З.М. Асадулаев, З.Р. Рамазанова. – Махачкала: АЛЕФ (ИП Овчинников М.А.), 2014. – 248 с.

15. Аспекты и содержание мониторинга садового агрофитоценоза. Методические рекомендации / Составил д.б.н., проф. В.Ф. Иванов. – Ялта: ГНБС, 1995. – 19 с.

16. Атлас перспективных сортов плодовых и ягодных культур Украины ; под ред. д-ра. с.-х. наук В.П. Копаня. – К. : Одекс, 1999. – 454 с.

17. Бабушкин, В.М. Технологии по мелиорации и возделыванию сельскохозяйственных культур на солонцовых почвах Северного Кавказа / В.М. Бабушкин. – М.: Центр научно-технической информации, пропаганды и рекламы, 1990. – 59 с.

18. Базилевич, Н.И. Учет засоленных почв / Н.И. Базилевич, Е.И. Панкова // Методические рекомендации по мелиорации солонцов и учету засоленных почв. М. : Колос, 1970. – 86 с.

19. Балакай, Г. Т. Способы мелиорации орошаемых солонцовых почв / Г.Т. Балакай, Л М. Докучаева, Р.Е. Юркова и др.: Научный обзор. – Новочеркасск, 2011. – 73 с.

20. Балюк, С.А. Прогноз и управление процессами содообразования в оросительных водах / С.А. Балюк, Л.А. Чаусова // Вісник Одеського національного університету. – 2009. – Т. 14. – Вип. 7 : Географічні та геологічні науки. – С. 30–34.

21. Бараев, А.И. О научных основах земледелия в степных районах / А.И. Бараев // Вестн. с.-х. науки. – 1976. – № 4. – С. 22–35.

22. Барановская, В.А. Влияние орошения на современный почвообразовательный процесс / В.А. Барановская // Динамика почвенных процессов и плодородия орошаемых земель : сб. науч. тр. – Волгоград, 1990. – С. 22–35.

23. Барановская, В.А. Влияние орошения на миграцию карбонатов в почвах Поволжья / В.А. Барановская, В.И. Азовцев // Почвоведение. – 1981. – № 10. – С. 17–26.

24. Безсонова, В.П. Вплив техногенних умов на вміст аскорбінової кислоти та глютатіону в листках різних рослин / В.П. Безсонова, Ж.Т. Козюкіна, І.І. Лиженко // Український ботанічний журнал. – 1989. – Т. 46. – № 3. – С. 83–85.

25. Безсонова, В.П. Вплив забруднення довкілля SO_2 і H_2S на вміст аскорбинової кислоти та глутатіону в корі пагонів різних за морозостійкістю троянд в осінньо-зимовий період / В.П. Безсонова, О.В. Дубова, О.Є. Іванченко // Труди ДДАУ. − 2010. − № 2. − С. 6–10.

26. Березин, Л.В. Опыт мелиорации солонцов в Западной Сибири / Л.В. Березин // Земледелие. – 1981. – № 1. – С. 41–43.

27. Березин, Л.В. Изменение элементов технологии гипсования солонцов в связи с использованием фосфогипса / Л.В. Березин, Н.Ф. Семендяева // Теоретические основы и опыт мелиоративной обработки и химической мелиорации солонцовых почв. – Целиноград, 1980. – С. 103–104.

28. Березин, Л.В. Актуальные проблемы использования мелиорируемых земель в Западной Сибири / Л.В. Березин, А.М. Семененко, И.А. Проценко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2008. – № 1. – С. 14–17.

29. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / Э. Вайнерт, Р. Вальтер, Т. Ветцель и др.; под ред. Г. Шуберта; пер. с нем. Г.И. Лойдиной, В.А. Турчаниновой. – М. : Мир, 1988. – 350 с.

30. Биопрепараты в сельском хозяйстве // Методология и практика применения микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве ; под ред. И. Тихоновича и Ю. Круглова. – М., 2005. – 154 с.

31. Бичкова, Л.І. Кількісні показники процесу трансформації органічних речовин у грунтах зрошуваних садів / Л.І. Бичкова // Вісн. аграр. науки. — 1999. − № 12. − С. 14–16.

32. Бобков, В.М. Об устойчивости почв и грунтов к содовому засолению / В.М. Бобков // Почвоведение. – 1969. – № 8. – С. 65–73.

33. Бобков, В.М. О деградации почв степной зоны при возделывании риса / В.М. Бобков // Бюллетень почв ин-та им. В. В. Докучаева. – М., 1976. – Вып. 14. – С. 3–8.

34. Бобков, В.М. Содовое засоление почв как стадия естественного или искусственного рассоления территории / В.М. Бобков // Почвоведение. – 1976а. – № 6. – С. 99–110.

35. Болдырев, А.И. Использование железного купороса в качестве химического мелиоранта на орошаемых землях юга Украины / А.И. Болдырев, А.Н. Заранцев, А.И. Борькин // Химия в с.-х. – 1981. − № 4. – С. 4–7.

36. Бондарева, В.Ф. Применение фосфогипса при химической мелиорации солонцов / В.Ф. Бондарева // Достижения с.-х. науки и практики. – 1982. – Сер. 1, № 6. – С. 3–9.

37. Бородин А.И. Мелиорация черноземного лугового коркового солонца при помощи фосфогипса / А.И. Бородин // Химия в с.-х. – 1983. – Т. 21. − № 2. – С. 11–13.

38. Бримблукумб, П. Состав и химия атмосферы / П. Бримблукумб ; пер. с англ. − М. : Мир, 1988. − 352 с.

39. Брянцева, З. Н. Влияние SO_2 и холода на активность глутаматдегидрогеназы гороха / З.Н. Брянцева, Л.А. Барахтенова // Физиология растений. − 1991. − Т. 38. − Вып. 5. − С. 998–1004.

40. Бузоверов, А.В. Оптимизация почвенного плодородия в садах Западного Предкавказья : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.03 / Бузоверов А.В. − Краснодар, 1998. − 48 с.

41. Бузоверов, А.В. Воспроизводство почвенного плодородия в садах / А.В. Бузоверов, В.П. Попова, В.А. Плахотин // Аграрная наука. − 2004. − № 5. − С. 12–14.

42. Буйлов, В.В. О щелочности почв и почвенно-грунтовых вод на рисовых оросительных системах Приазовья / В.В. Буйлов, А.Я. Ачканов, И.В. Подлесный // Почвоведение. – 1981, № 6. – С. 83–89.

43. Булгаков, Д.С. Проблемы исследования деградации почв / Д.С. Булгаков, Э.Н. Молчанов, И.И. Карманов, В.А. Рожков // Ресурсный потенциал почв – основа продовольственной и экологической безопасности России / Матер. междун. научн. конф., посв.165-летию со дня рожд. В.В. Докучаева (1–4 марта 2011 г., Санкт-Петербург) ; под ред. Б.Ф. Апарина. – СПб.: Издательский дом С.-Петербургского гос. ун-та, 2011. – С. 11–13.

44. Булгаков, С.Н. Капитализм и земледелие / С.Н. Булгаков. – Т. 1. – СПб, 1900. – 347 с.

45. Бурзи, К.Э. О засолении и солонцеватости орошаемых почв степной Украины и путях их мелиорации / К.Э. Бурзи // Мелиорация орошаемых засоленных почв : докл. всесоюз. совещ., Ростов-на-Дону, 1987 г. – М., 1970. – Т. 1. – Ч. 2. – С. 89–99.

46. Бутило, А.П. Проблема збереження родючості грунту в садах / А.П. Бутило // Вісн. аграр. науки. − 1999. − (Спеціальний випуск, вересень). − С. 30–33.

47. Бутыло, А.Ф. Водный режим интенсивного сада при содержании почвы под черным паром и дерново-перегнойной системой / А.Ф. Бутыло, Д.И. Дончук // Технология производства плодов и ягод в интенсивных насаждениях. − К. : Укр. с.-х. акад, 1991. − С. 38–46.

48. Вадюнина, А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Агропромиздат, 1986. − 416 с.

49. Важов, В.И. Агроклиматическое районирование Крыма / В.И. Важов // Тр. Никит. ботан. сада. – 1977. – Т. 70. – С. 92–120.

50. Вальков, В.Ф. Экология почв: Учебное пособие для студентов вузов / В.Ф. Вальков, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников. – Ростов-на-Дону : УПЛ РГУ, 2004. – Ч. 2. – 54 с.

51. Василенко, А.А. Сидераты в молодых садах / А.А. Василенко // Садоводство и виноградарство. – 1997. − № 5. − С. 5–6.

52. Васкан, Г.К. Система содержания почвы в насаждениях яблони / Г.К. Васкан // Садоводство, виноградарство и виноделие Молдавии. − 1983. − № 9. − С. 15–17.

53. Васкан, Г.К. Рост и плодоношение молодых деревьев яблони в зависимости от систем содержания почвы в саду / Г.К. Васкан // Садоводство, виноградарство и виноделие Молдавии. − 1984. − № 4. − С. 11–13.

54. Внесение компостов при возделывании яровой пшеницы / Ю.П. Жуков [и др.] // Плодородие. – 2007. – № 2(35). – С. 6–7.

55. Воробейников, Г.А. Исследование эффективности штаммов ассоциативных ризобактерий в посевах различных видов растений / Г.А. Воробейников [и др.] // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. – 2001. – № 141. – С. 114–123.

56. Воробьева, Л.А. Щелочность вторично-гидроморфных черноземов Азовской оросительной системы / Л.А. Воробьева, Н.М. Герасименко, Н.Б. Хитров // Почвоведение. – 2002. – № 11. – С. 1333–1345.

57. Воробьева, Л.А. Щелочные засоленные почвы России / Л.А. Воробьева, Е.Н. Панкова // Почвоведение. – 2008. – № 5. – С. 517–532.

58. Воробьева, Л.А. О возможности прогноза состояния некоторых химических элементов в природных водных растворах по диаграммам растворимости / Л.А. Воробьева, Т.А. Рудакова // Вестник МГУ. – Сер. 17. Почвоведение. – 1981. – № 4. – С. 3–12.

59. Воротник, Т.К. Влияние плантажа на водно-физические и химические свойства почвы при орошении минерализованными водами / Т.К. Воротник // Агрохимия и почвоведение. – К. : Урожай, 1967. – Вып. 5. – С. 54–61.

60. Гаврилович, Н.Ю. Екологічні аспекти меліорації солонцевих грунтів України / Н.Ю. Гаврилович, О.В. Солошенко, А.К. Приживара // Грунти, екологія, продовольство / Агрохімія і ґрунтознавство: міжвід. темат. наук. зб. – Харків, 1998. – Ч. 3. – С. 186–188.

61. Гаврилович, Н.Ю. Іригаційне содопроявлення в грунтах півдня України / Н.Ю. Гаврилович // Агрохімія і ґрунтознавство : міжвід. темат. наук. зб. – Харків. – 2002. – Кн. 2. – С. 225–227.

62. Гарболінський, І.О. Перспективний метод меліорації вторинно осолонцьованих зрошуваних земель південного Степу України / І.О. Гарболінський, Н.В. Бойко // Агрохімія і грунтознавство. Спеціальний випуск до V з'їзду УТГА (Рівне, 6–10 липня 1998 р.). – Харків : Аграрна наука. – 1998. – Ч. 3. – С. 185–186.

63. Гарифзянов, А.Р. Сравнительный анализ активности компонентов антиоксидантной системы древесных растений в условиях техногенного стресса / А.Р. Гарифзянов, С.В. Горелова, В.В. Иванищев, Е.Н. Музафаров // Изв. Тульского гос. ун-та. естеств. наук. – 2009. – Вып. 1. – С. 166–178.

64. Гарифзянов, А.Р. Исследование антиоксидантной системы древесных растений в условиях промышленного загрязнения : автореф. дисс. …. канд биол. наук : 03.01.05. Физиология и биохимия растений / Гарифзянов А.Р. – Тула, 2011. – 22 с.

65. Гейнрих, Д. Экология: dtv-Atlas / Д. Гейнрих, М. Гергт : пер. с 5-го нем. изд. ; научн. ред. перев. В.В. Серебряков. – М. : Рыбари, 2003. – 287 с.

66. Гинзбург, К.Е. Ускоренный метод сжигания почв и растений / К.Е. Гинзбург, Г.М. Щеглова, Е.В. Вульфиус // Почвоведение. – 1963. – № 5. – С. 89–96.

67. Глинка, Н.Л. Общая химия / Н.Л. Глинка. − 24-е изд. испр. − Л. : Химия, 1985. − 731 с.

68. Гоголев, И.Н. Почвенно-геохимическте процессы в почвах юга Украины, орошаемых пресными водами / И.Н. Гоголев : тез. докл. 1 съезда УТГА. Почвоведение, 1982. – С. 284.

69. Гоголев, И.Н. Об одном из возможных путей образования соды в орошаемых почвах Украины / И.Н. Гоголев, Т.Н. Хохленко // Почвенно-мелиоративные проблемы повышения плодородия орошаемых земель юга УССР : материалы совещания (25–30 сент. 1978 г.). – М., 1978. – С. 116–119.

70. Горина, В. Субхи ранняя : Помология в 5 т. Т. 3. : Абрикос, персик, алыча / В.М. Горина ; под общ. ред. М. В. Андриенко. — К. : Урожай, 1997. — С. 272–273.

71. ГОСТ 6981-94**.** Купорос железный. Технические условия. – Взамен ГОСТ 6981 – 75 ; введ. 01.01.1997. – Минск : Изд-во стандартов, 1996. – 16 с.

72. ГОСТ 26205-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. – Введ. 01.07.1993. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 10 с.

73. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. – Введ. 01.07.1993. – М. : Из-во стандартов, 1992. – 6 с.

74. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки. – Введ. 01.01.1986. – М. : Издательство стандартов, 1985. – 6 с.

75. ГОСТ 26424-85 – 26427-85. Почвы. Методы определения катионно-анионного состава водной вытяжки. – Введ. 01.01.1986. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 30 с.

76. ГОСТ 26951-86. Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом. – Введ. 01.07.1987. – М. : Издательство стандартов, 1986. – 10 с.

77. ГОСТ 28562-90. Продукты переработки плодов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ. – Введ. 01.07.1991. – М.: Стандартинформ, 2010. – 12 с.

78. ГОСТ Р 53135-2008. Посадочный материал плодовых, ягодных, субтропических, орехоплодных, цитрусовых культур и чая. Технические условия. – Введ. 01.01.2010. – М.: Стандартинформ, 2009. – 40 с.

79. Гудериан, Р. Загрязнение воздушной среды / Р. Гудериан. − М. : Мир, 1979. − 200 с.

80. Дельвич, К. Круговорот азота // Биосфера. − М. : Мир, 1972. − С. 105−119.

81. Демчинская-Подколзина, М.М. Влияние Cl^-, SO_4^{2-} и CO_3^{2-} на состав свободных аминокислот и белковый обмен кукурузы / М.М. Демчинская-Подколзина // Агрохимия. – 1970. – № 3. – С. 29–33.

82. Добровольский, Г.В. Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв) / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М. : Наука, 1990. – 261 с.

83. Добровольский, Г.В. Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы: Функционально-экологический подход / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М. : Наука, 2000. – 185 с.

84. Довбан, К.И. Зеленое удобрение / К.И. Довбан. − М. : Агропромиздат, 1990. − 208 с.

85. Докучаева, Л.М. Приемы химической мелиорации солонцовых почв в условиях орошения / Л.М. Докучаева // Изв. СХНЦ ВШ. Естеств. науки. – 1982. – № 3. – С. 7–11.

86. Докучаева, Л.М. Оценка агромелиоративных приемов восстановления плодородия орошаемых черноземов с экологических позиций / Л.М. Докучаева, Н.С. Скуратов, О.Ю. Шалашова // Вопросы мелиорации. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 1999. – С. 41–47.

87. Долина, Е.В. Влияние удобрительно-мелиорирующих компостов на свойства чернозема обыкновенного деградированного / Е.В. Долина, О.Ю. Шалашова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: «Геликон», 2007. – Вып. 37. – С. 33–39.

88. Долина, Е.В. Приемы воспроизводства плодородия орошаемых земель на базе местных сырьевых ресурсов / Е.В. Долина, Р.Е. Юркова, О.Ю. Шалашова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия : сб. науч. тр. ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: «Геликон», 2009. – Вып. 41. – С. 54–61.

89. Дорошкевич, С.Г. Влияние компостов из осадков сточных вод и опилок на плодородие каштановых почв Бурятии / С.Г. Дорошкевич, А.Б. Бадмаев, Л.Л. Убугунов // Плодородие. – 2007. – № 6. – С. 12–13.

90. Дорошенко, Т.Н. Плодоводство с основами экологии : учебник / Т.Н. Дорошенко. – Краснодар : КубГАУ, 2002. – 274 с.

91. Дорошенко, Т.Н. Биологические аспекты плодоводства на современном этапе / Т.Н. Дорошенко [Электронный ресурс] // Научный журнал КубГАУ. – 2004. – Вып. 3. – 7 с. – Режим доступа: http://ej.kubagro.ru/2004/01/pdf/04.pdf.

92. Дорошенко, Т.Н. Системы современного садоводства: особенности функционирования [Электронный ресурс] / Т.Н. Дорошенко, А.К. Бардин, В.И. Остапенко // Научный журнал КубГАУ. – 2005. – № 10. – 9 с. – Режим доступа : http://ej.kubagro.ru/2005/02/pdf/06.pdf.

93. Дорошенко, Т.Н. Формирование качества плодов в насаждениях Северного Кавказа : монография / Т.Н. Дорошенко, В.И. Остапенко, Л.Г. Рязанова. – Краснодар: Просвещение-юг, 2006. – 112 с.

94. Дорошенко, Т.Н. Влияние способов содержания почвы на особенности роста и плодоношения яблони в органическом саду [Электронный ресурс] / Т.Н. Дорошенко, Л.Г. Рязанова, С.С. Чумаков // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2015. – № 33(03). – Режим доступа: http://journal.kubansad.ru/pdf/15/03/05.pdf.http://journal.

95. Дорошенко, Т.Н. Агробиологический аспект повышения устойчивости яблони к абиотическим стресс-факторам летнего периода [Электронный ресурс] / Т.Н. Дорошенко, Н.В. Захарчук, Л.Г. Рязанова, С.И. Митракова // Научный журнал КубГАУ. – 2010. – № 62(08). – 10 с. – Режим доступа: http://ej.kubagro.ru/2010/08/pdf/21.pdf.

96. Дорошенко, Т.Н. Реакция сортов и подвоев яблони на изменение pH почвенной среды [Электронный ресурс] / Т.Н. Дорошенко, А.В. Бузоверов, Л.Г. Рязанова // Научный журнал КубГАУ. – 2015. – № 106(02). – 11 с. – Режим доступа : http://ej.kubagro.ru/2015/02/pdf/045.pdf.

97. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. − 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1985. – 416 с.

98. Драгавцева, И.А. Основные требования плодовых культур к окружающей среде и оптимизация их размещения в КБР [Электронный ресурс] / И.А. Драгавцева, В.Н. Бербеков, З.П. Ахматова // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2011. – № 5. – Режим доступа : http://journal.kubansad.ru/pdf/11/05/03.pdf.

99. Драгавцева, И.А. Оценка ресурсного потенциала земель Республики Ингушетия для плодовых культур // И.А. Драгавцева, И.Ю. Савин, З.П. Ахматова, Л.К. Цороев, Р.У. Костоев, А.А. Першина. – Краснодар : СКЗНИИСиВ, 2013. – 113 с.

100. Дрейер, О.К. Экология и устойчивое развитие / О.К. Дрейер, В.А. Лось. – М. : УРАО, 1997. – 222 с.

101. Дрозд О.М. Агроперетворені ґрунти солонцевих комплексів Сухого степу України : автореф. дис. … канд. с.-г. наук : 06.01.03 «Агроґрунтознавство і агрофізика» / Дрозд О.М. – Харків, 2009. – 20 с.

102. ДСТУ ISO 10693-2001 Якість ґрунту. Визначання вмісту карбонатів. Об'ємний метод. – Введ. 01.07.2003. – К. : Держстандарт України, 2003. – 18 с.

103. Дятлова, К.Д. Микробные препараты в растениеводстве / К.Д. Дятлова // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – Т. 7. – № 5. – С. 17–22.

104. Егоров, В.В. Органическое вещество почвы и ее плодородие / В.В. Егоров // Вестник с.-х. науки. – 1978. – № 5. – С. 12–20.

105. Емцев, В.Т. Микробиология / В.Т. Емцев, Е.Н. Мишустин. – 6-е изд., испр. – М. : Дрофа, 2006. – 446 с.

106. Ермаков, Е.И. Аспекты управления круговоротом органического вещества в системе почва – растение / Е.И. Ермаков, А.И. Попов // Вестник РАСХН. – 2001. – № 1. – С. 58–62.

107. Еськов, А.И. Основные приемы мелиорации и использования солонцов / А.И. Еськов // О мерах по освоению солонцовых земель в КазССР. – Алма-Ата, 1982. – С. 90–100.

108. Еськов, А.И. К агроэкологической оценке органического вещества почвы / А.И. Еськов, М.Н. Новиков, А.М. Лыков // Вестник РАСХН. – 2001. – № 1–2. – С. 35–38.

109. Ефимова, И.Л. Новые приемы агроэкологии для повышения качества посадочного материала яблони / И.Л. Ефимова, А.П. Юрков // Труды КубГАУ. – 2015. – Вып. 4(55). – С. 73–77.

110. Жамьянова, Б.Б. Растительные остатки – главный фактор плодородия дефлированных почв / Б.Б. Жамьянова, Г.Д. Чимитдоржиева // Агрохимия. − 1995. − № 9. − С. 25–30.

111. Жигачев, А.В. Зеленые удобрения в садах Крыма / А.В. Жигачев // Садоводство. − К. : Урожай, 1966. − Вып. 5. − С. 12–19.

112. Жуков, А.И. Воспроизводство гумуса в интенсивном земледелии (обзор) / А.И. Жуков // Агрохимия. – 1991. – № 3. – С. 121–133.

113. Жученко, А.А. Ресурсный потенциал производства зерна в России (теория и практика) / А.А. Жученко. – М. : ООО «Издательство Агрорус», 2004. – 118 с.

114. Жученко, А.А. Адаптивный потенциал культурных растений (эколого-генетические основы) / А.А. Жученко. – Кишинев: Штиинца, 1988. – 767 с.

115. Жученко, А.А. Проблемы адаптации в сельском хозяйстве // С.-х. биология. Сер. биол. растений. – 1993. – № 5. – С. 3–35.

116. Жученко, А.А. Роль научного наследия Н.И. Вавилова в решении проблем мирового сельского хозяйства / А.А. Жученко // Известия ТСХА. – 1998. – Вып. 1. – С. 3–26.

117. Жученко, А.А. Эколого-генетические основы адаптивной селекции растений / А.А. Жученко // С.-х. биология. – 2000. – № 3. – С. 3–29.

118. Жученко, А.А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). Теория и практика / А.А. Жученко. В 3-х томах. – М. : Изд-во Агрорус, 2008. – Т. 1. – 816 с.

119. Жученко, А.А. Корм не в коня / А.А. Жученко, Б.М. Миркин // Энергия. – 1990. – № 6. – С. 38–43.

120. Загрязнение воздуха и жизнь растений ; под. ред. М. Трешоу ; пер. с англ. В. И. Егорова и др. – Л. : Гидрометеоиздат, 1988. – 536 с.

121. Заиков, Г.Е. Кислотные дожди и окружающая среда / Г.Е. Заиков, С.А. Маслов, В.Л. Рубайло. – М. : Химия, 1991. – 144 с.

122. Захаренко, А.В. Биоэнергетический потенциал органического вещества дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при разных способах ее механической обработки / А.В. Захаренко // Доклады РАСХН. – 2000. – № 5. – С. 25–26.

123. Заяц, А.Н. Роль катионного питания растений в повышении урожая при химической мелиорации солонцов / А.Н. Заяц // Агрохимия. – 1972. – № 9. – С. 74–80.

124. Зборищук, Н.Г. К вопросу о гипсовании южных черноземов в целях предотвращения их осолонцевания при орошении / Н.Г. Зборищук, О.Б. Буханова // Агрохимия. – 1987. – № 10. – С. 70–75.

125. Зволинский, В.П. Земледелие и рациональное природопользование (экологические и социально-экономические аспекты) / В.П. Зволинский, Д.М. Хомяков. – М. : Изд-во МГУ, 1998. – С. 30–43.

126. Зезюков, Н.И. Сидеральный пар в ЦЧЗ / И.Н. Зезюков // Земледелие. – 1993. – № 6. – С. 10–11.

127. Зезюков, Н.И. Биологические приемы воспроизводства плодородия черноземов / Н.И. Зезюков // Биологизация земледелия на черноземах : сб. науч. тр. Воронеж. ГАУ. – 1995. – С. 22–27.

128. Зеленская, Е.Д. Динамика потребности плодовых культур в элементах питания (аналитический обзор) / Е.Д. Зеленская, Р.И. Кардиналовская // Химия в сел. хоз-ве. – 1978. – № 2. – С. 68–72.

129. Зимовец, Б.А. Повышение эффективности мелиорации солонцов Заволжья / Б.А. Зимовец // Почвоведение. – 1982. – № 10. – С. 90–97.

130. Зимовец, Б.А. Оценка деградации орошаемых почв / Б.А. Зимовец, Н.Б. Хитров, Г.Н. Кочеткова, Н.П. Чижикова // Почвоведение. – 1998. – № 9. – С. 1119–1126.

131. Зональные системы земледелия ростовской области (на период 2013 – 2020 гг.) [Электронный ресурс] / Отв. за выпуск – директор ГНУ Донской НИИСХ Россельхозакадемии, канд. с.-х. н., доцент Зинченко В.Е. – Ростов-на-Дону, 2012. – Ч. 1. – 235 с. – Режим доступа : www.donagro.ru/FILES/2020/.../Sistema_zemled_do_2020_1.docx.

132. Зыбалов, В.С. Управление функцией агроценозов. Роль промежуточных посевов и поликультур / В.С. Зыбалов , Б.М. Миркин // Сельскохозяйственная биология. – 2002. – № 1. – С. 3–11.

133. Иванов, В.Ф. Влияние засоления почв Крымского Присивашья на распространение корневой системы плодовых культур / В.Ф. Иванов // Почвоведение. – 1967. – № 8. – С. 27–35.

134. Иванов, В.Ф. Содержание Fe, Mn, Ti, B, Cu и Cr в листьях плодовых культур, произрастающих на солонцовых почвах Крыма / В.Ф. Иванов // Агрохимия. – 1973. – № 11. – С. 117–122.

135. Иванов, В.Ф. Минеральное питание плодовых культур на засоленных почвах / В.Ф. Иванов, А.С. Иванова // Агрохимия. – 1976. – № 5. – С. 78–84.

136. Иванов, В.Ф. Почва и плодовое растение / В.Ф. Иванов. – М. : Агропромиздат, 1986. – 159 с.

137. Иванов, В.Ф. Экология плодовых культур / В.Ф. Иванов, А.С. Иванова, Н.Е. Опанасенко, Н.П. Литвинов, В.И. Важов. – К. : Аграрна наука, 1998. – 408 с.

138. Иванова, А.С. Использование азота, фосфора и калия плодовыми деревьями на засоленных почвах / А.С. Иванова // Свойства почв и реакция на них плодовых культур. – Тр. Гос. Никит. ботан. сада. – Ялта, 1974. – Т. 65. – С. 87–98.

139. Иванова, А.С. Роль сидератов в режимах влаги и NPK на южном черноземе под яблоней / А.С. Иванова // Роль почв и климата в формировании продуктивности садов и декоративности парков. – Тр. Гос. Никит. ботан. сада. – Ялта, 1988. – Т. 105. – С. 41–52.

140. Иванова, А.С. Использование сидератов в молодом саду яблони (методические указания) / А.С. Иванова. − М. : ВАСХНИЛ, 1990. − 32 с.

141. Иванова, А.С. Эффективная биомасса сидератов в саду яблони интенсивного типа на южном черноземе степной части Крыма / А.С. Иванова // Экология и садовый агрофитоценоз. − Труды Гос. Никит. ботан. сада. − Ялта, 1996. − Т. 116. − С. 65 – 77.

142. Иванова, А.С. Содержание некоторых биогенных микроэлементов в листьях яблони и персика в условиях содового засоления / А.С. Иванова, О.Е. Клименко, Т.А. Дудленко // Агрохимия. – 1990. – № 7. – С. 83–90.

143. Израэль, Ю.А. Кислотные дожди / Ю.А. Израэль, И.М. Назаров, А.Я. Прессман [и др.]. − 2-е изд. − Л. : Гидрометеоиздат, 1989. − 270 с.

144. Ильинская, И.Н. Экологическая устойчивость озимой пшеницы на черноземах южных Ростовской области / И.Н. Ильинская, М.А. Балахонский // Известия Оренбургского ГАУ. – 2015. – № 3(53). – С. 173–175.

145. Илькун, Г.М. Газоустойчивость растений / Г.М. Илькун. − К. : Наукова думка, 1971. − 146 с.

146. Илькун, Г.М. Загрязнение атмосферы и растения / Г.М. Илькун. − К. : Наукова думка, 1978. − 247 с.

147. Ильницкий, О.А. Экологический мониторинг / О.А. Ильницкий, А.Н. Щедрин, А.П. Грамотенко ; НААН Украины. Ин-т экономики пром-сти. – Донецк, 2010. – 294 с.

148. Иутинская, Г.А. Особенности гумусообразования при сидерации южных орошаемых черноземов / Г.А. Иутинская, Н.И. Иванова, С.К. Воцелко, С.П. Голобородько // Почвоведение. − 1994. − № 3. − С. 83–89.

149. Каменева, И.А. Влияние микробных препаратов на всхожесть и эпифитную микрофлору семян миндаля горького (*Amygdalus communis* L.) / И.А. Каменева, О.Е. Клименко, Н.И. Клименко, И.И. Смирнова // Інтродукція, селекція та захист рослин : матер. міжнар. наук. конф. (Донецьк, 6-8 жовтня 2009 р.) – Донецьк, 2009. – Т. 1. – С. 318–319.

150. Канивец, И.И. Почвенные условия и рост садовых насаждений / И.И. Канивец. – Кишинев, 1960. – 543 с.

151. Кант, Г. Зеленое удобрение / Г. Кант : пер. в нем. − М. : Колос, 1982. − 123 с.

152. Кант, Г. Биологическое растениеводство: возможности биологических агросистем / Г. Кант. – М. : Агропромиздат, 1988. – 207 с.

153. Карпачевский, Л.О. Экологическое почвоведение / Л.О. Карпачевский. – М. : ГЕОС, 2005. – 336 с.

154. Картыжова, Л.Е. Технология выращивания саженцев персика с использованием ризобактерий и арбускулярных микоризных грибов / Л.Е. Картыжова, З.М. Алещенкова, Е.А. Соловьева, О.Е. Клименко, Н.И. Клименко // Инновационные технологии в питомниководстве : матер. межд. научно-практ. конф. (Самохваловичи, 15 июня – 31 июля 2009 г.) / РУП «Ин-т плодоводства» ; редкол. : В.А. Самусь (гл. ред.) [и др.]. – Самохваловичи, 2009. – С. 50–54.

155. Картыжова, Л.Е. Микробиологическая активность почв плодового питомника саженцев алычи и абрикоса / Л.Е. Картыжова, З.М. Алещенкова, И.В. Семенова, О.Е. Клименко, Н.И. Клименко // Актуальные проблемы экологии – 2012 : матер. VIII междунар. науч.-практ. конф. (Гродно, 24–26 окт. 2012 г.) – В 2 ч. / ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: И.Б. Заводник (гл. ред.) [и др.]. – Гродно : ГрГУ, 2012. – Ч. 1. – С. 35–37.

156. Касьяненко, А.И. Корневая система подвоев плодовых деревьев / А.И. Касьяненко. – К. : Урожай, 1980. – 220 с.

157. Кашин, В.И. Научные основы адаптивного садоводства / В.И. Кашин. – М. : Колос, 1995. – 335 с

158. Кашин, В.И. Достижения научно-исследовательских учреждений России в области садоводства России / В.И.Кашин. − Сб. науч. трудов ВСТИСП. – М., 2001. – Т. VIII. – С. 3–22.

159. Кашин, В.И. Проблема научного обеспечения садоводства России // Плодоводство и ягодоводство России : сб. науч. работ. – М.: ВСТИСП, 2003. – С. 3–37.

160. Каштанов, А.Н. Совместное проявление ветровой и водной эрозии почв и борьба с ней / А.Н. Каштанов, В.Н. Мусохранов. – М., 1980. – С. 158–180.

161. Каштанов, А.Н. Экологизация сельского хозяйства / А.Н. Каштанов // Экологические принципы земледелия. – М.: Колос, 1993. – С. 3–11.

162. Каштанов, А.Н. Концепция устойчивого земледелия России / А.Н. Каштанов // Земледелие. – 2000. – № 3. – С. 10–11.

163. Керженцев, А.С. Функциональная экология / А.С. Керженцев. – М.: Наука, 2006. – 259 с.

164. Керженцев, А.С. Бесконфликтный переход биосферы в ноосферу – разумный выход из экологического кризиса / А.С. Керженцев // Вестник РАН. – 2008. – Т. 78. – № 6. – С. 1–8.

165. Керженцев, А.С. Функциональная экология (физиология экосистем) новое перспективное направление / А.С. Керженцев // Вестник РАН. – 2012. – Т. 82. – № 5. – С. 432–440.

166. Кисель, В.И. Биологическое земледелие в Украине: проблемы и перспективы / В.И. Кисель. – Харьков : Штрих, 2000. – 162 с.

167. Кирюшин, В.И. Принципы формирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия / В.И. Кирюшин // Аграрная наука. – 1993. – № 3. – С. 7–11.

168. Кирюшин, В.И. Экологические основы земледелия / В.И.Кирюшин. – М. : Колос, 1996. – 367 с.

169. Кирюшин, В.И. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия – основа современной агротехнологической политики России / В.И. Кирюшин // Земледелие. – 2000. – № 3. – С. 4–6.

170. Кладь, А.А. Система содержания почвы в многолетних насаждениях / А.А. Кладь, В.Г. Никоев, А.П. Перепелица // Садоводство и виноградарство. − 1992. − № 9–10. − С. 10–11.

171. Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители : Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.

172. Классификация и диагностика почв СССР. – М. : Колос, 1977. – 221 с.

173. Климанов, А.В. Природа щелочности целинных и антропогенно-преобразованных солонцов северной Калмыкии / А.В. Климанов, Л.А. Воробьева, А.Ф. Новикова, М.В. Конюшкова // Почвоведение. – 2014. – № 4. – С. 433–442.

174. Климатический атлас Крыма / Приложение к научно-практическому дискуссионно-аналитическому сборнику «Вопросы развития Крыма». – Симферополь: Таврия-Плюс, 2000. – 120 с.

175. Клименко, О.Е. Один из возможных путей ощелачивания солонцовых почв Крыма / О.Е. Клименко // Бюл. Гос. Никит. ботан. сада. – Ялта, 1987. – Вып. 59. – С. 74–78.

176. Клименко, О.Е. Влияние содового засоления на рост, развитие и минеральное питание яблони и персика / О.Е. Клименко // Агрохимические исследования в ботанических садах. – Апатиты, 1988. – С. 54–57.

177. Клименко, О.Е. Щелочные соли в почвах Северо-Крымской низменности и их влияние на плодовые культуры : автореф. дисс. … канд. с.-х. наук : 06.01.03 / Клименко О.Е. – Харьков, 1988. – 18 с.

178. Клименко, О.Е. Особенности роста корневой системы яблони в условиях содового засоления / О.Е. Клименко // Бюл. Гос. Никит. ботан. сада. – Ялта, 1990. – Вып. 71. – С. 65–69.

179. Клименко, О.Е. Динамика солей кальция при ощелачивании орошаемых почв / О. Е. Клименко // Мелиорация и водное хозяйство. – 1991. – № 11. – С. 38–40.

180. Клименко, О.Є. Вплив зрошення і плантажної оранки на процес підлуження темно-каштанового слабосолонцюватого ґрунту / О.Є. Клименко // Агрохімія і ґрунтознавство : респ. міжвідомч. темат. наук. зб. – К. : Урожай, 1992. – Вип. 54. – С. 35–38.

181. Клименко, О.Е. Минеральное питание яблони и персика в условиях ощелачивания почвы / О.Е. Клименко // Физиол. и биох. культ. раст. – 1993. – Т. 25. – № 2. – С. 132–137.

182. Клименко, О.Є. Вплив озимих сидератів на властивості чорнозему південного та продуктивність яблуні / О.Є. Клименко // Вісн. аграр. науки. — 2002. – № 5. – С. 16–19.

183. Клименко, О.Е. Использование сидератов в плодоносящем яблоневом саду на черноземах южных / О.Е. Клименко // Тр. Гос. Никит. ботан. сада. – 2003. – Т. 121. – С. 153–167.

184. Клименко, О.Є. Сидерати – щлях до оптимізації умов вирощування і підвіщення продуктивності яблуні / О.Є. Клименко // Біологічні науки і проблеми рослинництва : зб. наук. праць Уманського держ. аграрного ун-ту (спец. випуск). – Умань: Уманський держ. агр. університ., 2003. – С. 907–912.

185. Клименко, О.Е. Воздействие содового засоления на внешнее состояние, рост и развитие яблони и персика / О.Е. Клименко // Садівництво : міжвідомч. темат. наук. зб. – К. : Фірма «Серж», 2005. – С. 345–350.

186. Клименко, О.Е. Зависимость степени подкисления атмосферных осадков от химического состава их примесей / О.Е. Клименко // Экологические проблемы садоводства и интродукции растений. − Тр. Гос. Никит. ботан. сада. − Ялта, 2008. − Т. 130. − С. 76–82.

187. Клименко, О.Е. Использование биопрепаратов для повышения эффективности выращивания привитых саженцев алычи / О.Е. Клименко // Вісник ДДАЕУ. – 2014. – № 2. – С. 84–87.

188. Клименко, О.Е. Методические рекомендации по использованию сидератов в плодоносящих яблоневых садах / О.Е. Клименко. – Ялта, 2014. – 18 с.

189. Клименко, О.Е. Минеральное питание яблони (*Malus domestica* Borkh.) на различных подвоях в условиях ощелачивания почвы / О.Е. Клименко // Садівництво : міжвідомч. темат. наук. зб. – К., 2014. – Вип. 68. – С. 290–297.

190. Клименко, О.Е. Химический состав атмосферных осадков в степном Крыму и влияние его кислотообразующих компонентов на косточковые плодовые культуры / О.Е. Клименко. – К. : Освита Украины, 2014. – 144 с.

191. Клименко, О.Е. Изменения в микробном ценозе ризосферы саженцев плодовых культур при применении биопрепаратов / О.Е. Клименко // Тез. межд. конф. “Генетическая интеграция прокариот и эукариот: фундаментальные исследования и современные агротехнологии”, посв. 85-летию ФГБНУ «ВНИИСХМ» (СПб. 24 – 27 июня 2015 г.). – СПб. : Научный центр РАН. – 2015. – С. 81.

192. Клименко, О.Е. Влияние химической мелиорации почв на свойства почвы и продуктивность деревьев персика / О.Е. Клименко // Вісник ДДАЕУ. – 2015. – № 2. – С. 16–20.

193. Клименко, О.Е. О влиянии орошения на солевой состав почв степного комплекса Крымского Присивашья / О.Е. Клименко, В.Ф. Иванов // Бюл. Гос. Никит. ботан. сада. – Ялта, 1984. – Вып. 55. – С. 72–76.

194. Клименко, О.Е. Методические рекомендации по химической мелиорации почв с высокой щелочностью перед закладкой сада и в плодоносящем саду / О.Е. Клименко, В.Ф. Иванов. – Ялта: ГНБС, 1996. – 33 с.

195. Клименко, О.Е. Влияние щелочности почвы на подвижность элементов питания растений / О.Е. Клименко, А.С. Иванова, Н.И. Клименко // Бюл. Гос. Никит. ботан. сада. – Ялта, 2007. – Вып. 95. – С. 46–50.

196. Клименко, О.Е. Влияние ощелачивания на рост, продуктивность персика и экономическую эффективность его выращивания в степном Крыму / О.Е. Клименко, Н.И. Клименко // Бюл. Гос. Никит. ботан. сада. – Ялта, 1989. – Вып. 69. – С. 59–63.

197. Клименко, О.Е. Реакция растений персика на увеличение карбонатной щелочности в почве / О.Е. Клименко, Н.И. Клименко // Физиол. и биох. культ. раст. – 1997. – Т. 29. – № 6. – С. 455–460.

198. Клименко, О. Е. Изменения в состоянии и минеральном питании персика под воздействием искусственного кислотного дождя / О.Е. Клименко, Н.И. Клименко // Экологические проблемы садоводства : тез. докл. конф. стран содружества (Ялта, 14–16 окт. 1998 г.). − Ялта, 1998. − С. 17–19.

199. Клименко, О.Е. Кислотные осадки и рост персика / О. Е. Клименко, Н.И. Клименко // Питання біоіндикації та екології. − Запоріжжя: Видавн. Запоріз. ун-ту, 1999. − Вип. 4. − С. 55–60.

200. Клименко, О.Е. Повышение плодородия почвы в садовом агроценозе под воздействием сидератов / О.Е. Клименко, Н.И. Клименко // Вісн. аграр. науки південного регіону : міжвідомч. темат. наук. зб. с.-х. та біол. науки. − Одеса : СМИЛ, 2003. − Вип. 4. − С. 51–62.

201. Клименко, О.Е. Слежение за составом химических примесей в атмосферных осадках вблизи больших массивов плодовых насаждений в степном Крыму / О.Е. Клименко, Н.И. Клименко // Оптимизация экологических условий в садоводстве : сб. науч. тр. 3 междунар. научно–практич. конф. (Ялта, май 2004 г.). − Ялта, 2004. − С. 48–51.

202. Клименко, О.Е. Оценка устойчивости сортов алычи к щелочным солям в почвах степного Крыма / О.Е. Клименко, Н.И. Клименко // Научн. тр. ЮФ «Крымский агротехнологический университет» НАУ. – Симферополь, 2006. – Сельскохозяйственные науки. – Вып. 96. – С. 141–145.

203. Клименко, О.Е. Влияние метеорологических условий года на выход привитых саженцев персика в плодовом питомнике / О.Е. Клименко, Н.И. Клименко // Бюл. Гос. Никит. ботан. сада. – 2012. – Вып. 104. – С. 79–83.

204. Клименко, О.Є. Вплив кислотних опадів на плодові культури / О.Є. Клименко, М.І. Клименко, В.М. Горіна // Донецький вісник наукового товариства ім. Шевченка. – 2008. – Т. 20. – С. 208–225.

205. Клименко, О.Е. Методические рекомендации по применению микробиологических препаратов в плодовом питомнике на южных черноземах Крыма / О.Е. Клименко, Н.И. Клименко, И.А. Каменева, В.Д. Боровик. – Ялта, 2011. – 18 с.

206. Клименко, О.Е. Применение биопрепаратов при выращивании привитых саженцев абрикоса / О.Е. Клименко, Н.И. Клименко, И.А. Каменева // Актуальные проблемы интенсификации плодоводства в современных условиях : матер. междун. научной конф., посв. 90-летию со дня рожд. д.с.-х. наук А.С. Девятова и к.б.н. В.Н. Балобина (Самохваловичи, 19–23 августа 2013 г.). – Самохваловичи, 2013. – С. 311–315.

207. Клименко, О.Е. Воздействие биопрепаратов на эффективное плодородие почвы и минеральное питание саженцев абрикоса и алычи / О.Е. Клименко, Н.И. Клименко, И.А. Каменева // Сільськогосподарська мікробіологія. − 2015. − Вип. 21. − С. 31–38.

208. Клименко, О.Є. Підвищення ефективної родючості ґрунту в плодовому розсаднику при застосуванні мікробіологічних препаратів / О.Є. Клименко, М.І. Клименко, І.О. Камєнєва, В.Д.Боровік, В.М. Мережко, С.А. Попова // Грунт – основа життя. – К. : Держродючість, 2010. – С. 106–109.

209. Клименко, О.Е. Воздействие микробных препаратов на рост и развитие плодовых саженцев / О.Е. Клименко, Н.И. Клименко, И.А. Каменева, Т.Д. Куликова, Н.Н. Клименко // Сільськогосподарська мікробіологія : міжвідомч. темат. наук. зб. – Чернігів : Чернігівський ЦНТЕІ, 2008. – Вип. 8. – С. 90–103.

210. Клименко, О.Е. Использование фосфатмобилизующих и азотфиксирующих микроорганизмов для выращивания саженцев персика / О.Е. Клименко, Н.И. Клименко, Л.Е. Картыжова, З.М. Алещенкова, Е.А. Шестакова, А.Р. Акчурин // Экологічний журнал. – 2009, червень (спеціальний випуск). – С. 136–139.

211. Клименко, О.Е. Применение активных штаммов микроорганизмов при выращивании привитых саженцев персика / О.Е. Клименко, Н.И. Клименко,

Л.Е. Картыжова, З.М. Алещенкова // Наук. праці ПФ НУБіП «КАТУ». – Сімферополь, 2013. – С.-г. науки. – Вип. 154. — С. 175–182.

212. Клименко, О.Е. Изменения в минеральном питании персика при кислотном стрессе / О.Е. Клименко, Н.И. Клименко, И.В. Конюшко // Інтродукція рослин, збереження та збагачення біорізноманіття в ботанічних садах і дендропарках : матер. міжнар. наук. конф., присв. 75-річчю заснув. нац. бот. саду ім. М.М. Гришка НАН України (Київ, 15–17 вересня, 2010 р.). – К. : Фітосоціоцентр, 2010. – С. 489–491.

213. Клименко, О.Е. Изменение элементов антиоксидантной системы растений персика как тест-фактор кислотного стресса / О.Е. Клименко, Н.И. Клименко, Т.А. Лацко // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона : межведом. сб. науч. работ ; отв. ред. С.В. Беспалова. – Донецк: ДонНУ, 2004. – Вып. 4. – С. 163–168.

214. Карягина, Л.А. Микробиологические основы повышения плодородия почв / Л.А. Карягина. – Минск : Наука и техника, 1983. – 180 с.

215. Ковалев, Н.Г. Влияние компостов на динамику питательного режима и урожайность полевых культур / Н.Г. Ковалев, И.Н. Барановский // Вестник РАСХН. – 2006. – № 5. – С. 27–29.

216. Ковда, В.А. Происхождение и режим засоленных почв / В.А. Ковда. – М. – Л. : Изд-во АН СССР, 1946. – Т. 1. – 575 с.

217. Ковда, В.А. Некоторые проблемы содового засоления / В.А. Ковда, Е.М. Самойлова // Почвы содового засоления и их мелиорация / Тр. ин-та земледелия и агрохимии Арм. ССР. – Ереван, 1971. – Вып. 6. – С. 17–34.

218. Ковда, В.А. Основы учения о почвах / В.А. Ковда. – М. : Наука, 1973. – Кн. 1. – 447 с.

219. Ковда, В.А. Роль и функции почвенного покрова в биосфере земли / В.А. Ковда : докл. 7 Дел. съезда ВОП (Ташкент, 9–13 сент. 1985 г.). – Пущино, 1985. – 10 с.

220. Козак, Н.В. Проблемы плодородия почв в садоводстве / Н.В. Козак // Почвоведение. – 1993. – № 8. – С. 60–66.

221. Козак, Н.В. Влияние длительного задернения междурядий сада злаками на гумусовое состояние темно-серой лесной оподзоленной почвы / Н.В. Козак // Агрохимия. – 1995. – № 10. – С. 10–20.

222. Козак, Н.В. Агроэкологические основы сохранения плодородия почв в промышленных насаждениях яблони и их качественная оценка в садоводстве Украины : дисс … д-ра с.-х. наук : 06.01.03 / Козак Н.В. – К., 1998. – 364 с.

223. Козловский, Ф.И. Современные естественные и антропогенные процессы эволюции почв / Ф.И. Козловский. – М. : Наука, 1991. – 196 с.

224. Колесниченко, В.Т. Отходы гидролизных и целлюлозных заводов как удобрения / В.Т. Колесниченко, И.Н. Рынкс, Л.В. Помазкина // Агрохимия. – 1977. – № 12. – С. 133–134.

225. Колесова, Д.А. Воздействие кислотных дождей на яблоневые насаждения и пути его снижения / Д.А. Колесова, П.Г. Чмырь // Садоводство и виноградарство. — 1996. — № 1. — С. 5–7.

226. Коломиец, Э.И. Инновационные биотехнологии в экономике республики Беларусь / Э.И. Коломиец // Микробные биотехнологии. Фундаментальные и прикладные аспекты : сб. науч. тр. – 2011. – Т. 3. – С. 7–19.

227. Колотилова, Н.Н. Об истории использования микроорганизмов как индикаторов потребности почвы в удобрениях / Н.Н. Колотилова // Проблемы агрохимии и экологии. – 2013. – № 3. – С. 60–62.

228. Кондратенко, А.Н. Агробиологические особенности создания насаждений яблони в Прикубанской зоне садоводства : автореф. дисс … канд с.-х. наук : 06.01.07 / Кондратенко А.Н. – Краснодар, 2009. – 24 с.

229. Кондратенко, П.В. Методика проведения полевых исследований с плодовыми культурами / П.В. Кондратенко, Н.А. Бублик. – К. : Аграрна наука, 1996. – 95 с.

230. Кондратенко, П.В. Теоретичні засади відродження та розвитку промислового садівництва в Україні / П.В. Кондратенко, О.М. Шестопаль, Л.О. Барабаш // Садівництво : міжвід. темат. наук. зб. – К. : СПД «Жителєв С.І.», 2008. – С. 5–16.

231. Кондратьев, К.Н. Засоление почвы как причина хлороза и устранение его кислованием / К.Н. Кондратьев // Тр. Саратов. СХИ. – 1978. – № 118. – С. 95–104.

232. Копылов, В.И. Плодоводство Крыма – состояние и перспективы / В.И. Копылов // Наук. тр. ПФ НУБіП України «КАТУ». С.-х. науки. – Сімферополь. : ВД «Аріал», 2014. – Вип. 161. – С. 90–96.

233. Копитко, П.Г. Збереження родючості грунту в інтенсивних плодових насадженнях / П.Г. Копитко // Вісник аграрної науки. − 1999. − (Спеціальний випуск, вересень). – С. 10–16.

234. Копитко, П.Г. Удобрення плодових і ягідних культур / П.Г. Копитко : навч. посібник. – К. : Вища школа, 2001. – 207 с.

235. Коршиков, И.И. Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды / И.И. Коршиков. − К. : Наукова думка, 1996. − 239 с.

236. Кравчук, В.И. Экология и энергосбережение в сельскохозяйственных технологиях: агроинженерные решения / В.И. Кравчук // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : матер. междунар. науч.-техн. конф., Минск, 10–11 окт. 2012 г. – В 3 т. / РУП «Научно-практ. центр Нац. Акад. наук Белор. по механиз. с.-х. хоз.» ; редкол. П.П. Казакевич (гл.ред.), О.О. Дударев. – Минск : НПЦ НААН Белоруси по механ. сельского хоз., 2012. – Т. 1. – С. 21–33.

237. Криваковська, Р.В. Картографування забруднення атмосфери двооксидом азоту та сірки в індустріальних містах Дніпропетровської області / Р.В. Криваковська, М.М. Харитонов, В.М. Хлопова // Екологічна безпека. – 2013. – № 2 (16). – С. 32–35.

238. Кроссли, Д.А. мл. Положительные взаимодействия в агроэкосистемах / Сельскохозяйственные экосистемы / Д.А. Кроссли мл., Г.Дж. Хауз, Р.Р. Снайдер, Дж. Снайдер, Б.Р. Стиннер. – М.: Агропромиздат, 1987. – С. 75–84.

239. Кудасов, Ю.Л. Биоценотическая оценка интенсивного сада / Ю.Л. Кудасов // Садоводство и виноградарство. – 1997. – № 5–6. – С. 3–4.

240. Кудасов, Ю.Л. Основные концепции адаптивного садоводства / Ю.Л. Кудасов // Садівництво : темат. наук. зб. – К.: 1998. – № 47. – С. 80–92.

241. Кудасов, Ю.Л. К вопросу экологии садоводства / Ю.Л. Кудасов // Физиология растений – основа рационального земледелия : Орловский фил. о-ва физиологов растений РАН. – М., 1999. – С. 8–10.

242. Кузнецова, А.П. Тенденции развития современного питомниководства на современном этапе / А.П.Кузнецова, Е.Л. Тыщенко // Труды КубГАУ. – 2015. – Вып. 4(55). – С. 124–128.

243. Кукоба, П.И. Влияние орошения на состав и свойства почв Каховского орошаемого массива / П.И. Кукоба, С.А. Балюк // Агрохимия и почвоведение. – К. : Урожай, 1982. – Вып. 43. – С. 32–36.

244. Кулагин, А.А. Реализация адаптивного потенциала древесных растений в экстремальных лесорастительных условиях : автореф. дис. ... докт. биол. наук : 03.00.16 / Кулагин А.А. – Тольятти, 2006. – 36 с.

245. Кулагин, В.П. Мелиорация солонцеватого чернозема перед закладкой сада : автореф. дисс. … канд. с.-х. наук / Кулагин В.П. – Саратов, 1973. – 29 с.

246. Кулагин, Ю.З. Древесные растения и промышленная среда / Ю.З. Кулагин. – М. : Наука, 1974. – 124 с.

247. Курдиш, І.К. Інтродукція мікроорганізмів у агроекосистемі / Курдиш І.К. – К. : Наукова думка, 2010. – 255 с.

248. Лабутова, Н.М. Влияние двойной инокуляции биопрепаратами на основе азотфиксирующих и фосфатмобилизующих микроорганизмов на продуктивность сои и содержание подвижных форм азота и фосфора в почве ризосферы / Н.М. Лабутова, В.А. Лях, И.В. Аксенов [и др.) // Біологічні науки і проблеми рослинництва : зб. наук. праць Уманського держ. агроун-ту. – Умань, 2003. – С. 262–266.

249. Лавриненко, Р.Ф. К вопросу о формировании химического состава атмосферных осадков / Р.Ф. Лавриненко // Естественные и антропогенные аэрозоли : матер. 3 междунар. конф. – Л. : НИИХ СПбГУ, 2003. – С. 13–35.

250. Лебедев, В.М. Влияние реакции питательного раствора на рост и продуктивность растений яблони / В.М. Лебедев // Агрохимия. – 1972. – № 6. – С. 86–91.

251. Лебедева, И.Н. Влияние агротехнических приемов на содержание гумуса в черноземах Сибири / И.Н. Лебедева // Плодородие и питание растений : сб. науч. тр. – Новосибирск, 1986. – С. 59–64.

252. Левон, Ф.М. Зеленые насаждения в антропогенно трансформированной среде: монография / Ф.М. Левон ; отв. ред. Н.В. Заименко. – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : ННЦ «ИАЭ», 2014. – 320 с.

253. Лозановская, И.П. Изучение мелиорирующих свойств отходов производства диоксида титана / И.П. Лозановская, И.А. Луганская // Изв. СКНЦ ВШ. Технич. науки. – 1986. – № 1. – С. 93–96.

254. Лопатина, Л.М. Методика эколого-генетической оценки адаптивности плодовых культур [Электронный ресурс] / Л.М. Лопатина, И.А. Драгавцева // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2014. – № 25(01). – Режим доступа : http://journal.kubansad.ru/pdf/14/01/01.pdf.

255. Любимова, И.Н. Влияние потенциально опасных химических элементов, содержащихся в фосфогипсе, на окружающую среду / И.Н. Любимова, Т.И. Борисочкина. – М., 2007. – 47 с.

256. Любимова, И.Н. Природа щелочности целинных и агрогенно-измененных почв солонцового комплекса Волгоградской области / И.Н. Любимова, А.В. Горобец, В.А. Грачев, Н.С. Никитина // Почвоведение. – 2004. – № 11. – С. 1325–1334.

257. Лыков, А.М. Органическое вещество и плодородие почвы в интенсивном земледелии / А.М. Лыков, Б.П. Боинчан, С.М. Вьюгин. – М. : ВНИИТЭИСХ, 1984. – 58 с.

258. Лыков, А.М. Концептуальные основы плодородия агробиоценозов и его воспроизводства в ландшафтных (адаптивно-ландшафтных) системах земледелия. 2. Биогеоценотический подход и концепция воспроизводства

плодородия агробиоценозов / А.М. Лыков, А.И. Еськов, М.Н. Новиков // Агро XXI. – 2001. – № 8. – С. 22–23.

259. Майдебура, В.И. Выращивание плодовых и ягодных саженцев / В.И. Майдебура, В.М. Васюта, И.М. Мережко, В.В. Бурковский ; под ред. д. с.-х. наук, проф. В.И. Майдебуры. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Урожай, 1989. – 168 с.

260. Макарова, Г.А. Сидерати як фактор підвищення родючості грунтів / Г.А. Макарова, М.К. Глущенко, Ю.В. Вакуленко // Екологія: Сучасний стан родючості грунтів та шляхи її збереження : наук. праці. – 2008. – Т. 81. – Вип. 68. – С. 51–54.

261. Малкина-Пых, И.Г. Модель формирования гумуса в естественных и сельскохозяйственных экосистемах / И.Г. Малкина-Пых // Почвоведение. — 1995. — № 7. — С. 904–914.

262. Манукян, Р.Р. Изменение свойств содово-засоленных почв под влиянием химической мелиорации (на примере Араратской равнины и Барабинской низменности) : автореф. дисс. … канд. с.-х. наук : 06.01.03 / Манукян Р.Р. – М., 1977. – 25 с.

263. Марков, М.В. Агрофитоценоз и процесс его становления / М.В. Марков // Теоретические проблемы фитоценологии и биогеоценологии. – М. : Наука, 1970. – С. 108–116.

264. Марков, М.В. Изучение агробиоценозов / М.В. Марков // Программа и методика биогеоценотических исследований. – М., 1974. – С. 358–369.

265. Марфенин, Н.Н. Концепция «устойчивого развития» в развитии / Н.Н. Марфенин // Россия в окружающем мире: 2002. Аналитический ежегодник. – М. : Изд-во МНЭПУ, 2002. – С. 126–176.

266. Марчук, Г.И. Приоритеты глобальной экологии / Г.И. Марчук, К.Я. Кондратьев. – М. : Наука, 1992. – 288 с.

267. Медведев, В.В. Структура почвы. Методы. Генезис. Классификация. Эволюция. География. Мониторинг. Охрана / В.В. Медведев. – Харьков : Городская типография, 2008. – 406 с.

268. Мелиорация солонцовых почв в условиях орошения / Н. С. Скуратов [и др.]; под ред. Н. С. Скуратова. – Новочеркасск : Изд-во «НОК», 2005. – 180 с.

269. Мельник, И.М. Эффективность различных систем содержания почвы в молодых садах / И.М. Мельник // Плодоводство (Минск). – 1986. – № 6. – С. 119–124.

270. Мельничук, Т.М. Нові бактеріальні добрива для овочевих культур / Т.М. Мельничук Л.М. Татарин, Т.Ю. Пархоменко // Ґрунтознавство та агрохімія на шляху до сталого розвитку України. – Агрохімія і ґрунтознавство: міжвідомч. темат. наук. зб. – Кн. 3. – Харків, 2002. – С. 254–255.

271. Мельничук, Т.М. Мікробні препарати в системі біоорганічного землеробства [Електронний ресурс] / Т.М. Мельничук, В.П. Патика // Зб. Наук. статей ІІІ-го Всеукраїнського з’їзду екологів з міжнародною участю. – Вінниця, 2011. – Т. 2. – С. 423–426. – Режим доступу: http://eco.com.ua/.

272. Методика изучения подвоев плодовых культур в Украинской ССР ; под ред. М.В. Андриенко и И.П. Гулько. − К., 1990. − 104 с.

273. Методические рекомендации по биоиндикации загрязнения атмосферного воздуха соединениями серы ; сост. Л.К. Щербатюк. — Ялта, 1998. − 19 с.

274. Методические рекомендации по применению удобрений при выращивании саженцев яблони и персика на южных черноземах Крыма ; сост. Л.Н. Кошер. – Ялта, 1974. – 13 с.

275. Методические рекомендации по сбору и анализу атмосферных осадков для контроля состояния окружающей среды ; сост. Л.К. Щербатюк. — Ялта, 1985. − 17 с.

276. Методические рекомендации по районированию природных условий Крыма для целей садоводства ; сост. В.И. Важов, В.Ф. Иванов, С.А. Косых. – Ялта : ГНБС, 1986. – 40 с.

277. Методы биохимического исследования растений; под ред. А.И. Ермакова. – 3-е изд. перераб. и доп. – Л. : Агропромиздат, Ленинградское отделение, 1987. – 430 с.

278. Методы почвенной микробиологии и биохимии ; под ред. Звягинцева Д.Г. – М. : Изд-во МГУ, 1991. – 304 с.

279. Мецлер, Д. Биохимия : в 3 т. Т. 2. Биохимия : пер. с англ. / Д. Мецлер ; под ред. А.Е. Браунштейна, Л.М. Гинодмана, Е.С. Северина. − М. : Мир, 1980. − 606 с.

280. Мікробні препарати у землеробстві. Теорія і практика / В.В. Волкогон, О.В. Надкернична, Т.М. Ковалевські [та ін.]. – К. : Аграрна наука, 2006. – 312 с.

281. Мікробіологічні аспекти оптимізації азотного удобрення сільськогосподарських культур : монографія / [Волкогон В.В.]. – К. : Аграрна наука, 2007. – 144 с.

282. Милащенко Н.З. Устойчивое развитие агроландшафтов / Н.З. Милащенко, О.А. Соколов, Т. Брайсон, В.А. Черников. – В 2-х томах. – Пущино: ОН ТИ ПНЦ РАН, 2000. – Т. 1 – 316 с. Т. 2 – 282 с.

283. Минашина, Н.Г. Соли в почвенном растворе и влажность завядания растений при орошении песчаных почв хлоридными и сульфатными водами / Н.Г. Минашина, Г.Н. Кочеткова // Почвоведение. – 1983. – № 5. – С. 90–100.

284. Минеев, В.Г. Экологические проблемы агрохимии / В.Г. Минеев. – М. : Изд-во МГУ, 1988. – 283 с.

285. Минеев, В.Г. Химизация земледелия и природная среда / В.Г. Минеев. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.

286. Минеев, В.Г. Воспроизводство плодородия почвы и экологические функции удобрений в агроценозе / В.Г. Минеев // Проблемы агрохимии и экологии. − 2008. − № 1. − С. 3–6.

287. Минеев, В.Г. Современные тенденции в изменении плодородия почв России / В.Г. Минеев, Т.Н. Болышева // Росс. хим. журнал. – 2005. – Т. 49. – № 3. – С. 5–10.

288. Миркин, Б.М. Экологические аспекты обеспечения продовольственной безопасности / Б.М. Миркин // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – № 12. – С. 28–33.

289. Миркин, Б.М. Проблемы, понятия и термины современной экологии: словарь-справочник / Б.М. Миркин, Л.Г. Наумова. – Уфа : АН РБ, Гилем, 2010. – 400 с.

290. Миркин, Б.М. Современное состояние основных концепций науки о растительности / Б.М. Миркин, Л.Г. Наумова. – Уфа : АН РБ, Гилем. – 2012. – 488 с.

291. Миркин, Б.М. Краткий энциклопедический словарь науки о растительности / Б.М. Миркин, Л.Г. Наумова. – Уфа: Гилем, Башк. энцикл., 2014. – 288 с.

292. Миркин, Б.М. Адаптивный подход как центральная задача экологически ориентированного управления агроэкосистемами / Б.М. Миркин, Р.М. Хазиахметов // С.-х. биология. – 2001. – № 3. – С. 3–7.

293. Миркин, Б.М. Управление в агроэкосистеме / Б.М. Миркин, Я.Т. Суюндуков, Р.М. Хазиахметов // Экология. – 2002. – С. 103–107.

294. Миркин, Б.М. Будущее агросферы: Новая "зеленая революция" или "зеленая эволюция"? / Б.М. Миркин, Р.М. Хазиахметов // Журн. общ. биологии. – 1995. – Т. 56. – № 2. – С. 256–268.

295. Миркин, Б.М. Устойчивое развитие – продовольственная безопасность – агроэкология / Б.М. Миркин, Р.М. Хазиахметов // Экология – 2000. – № 3. – С. 180–184.

296. Миркин, Б.М. Смена парадигм в земледелии (от технократизма к агроэкологии) / Б.М. Миркин , Ф.Х. Хазиев // Аграрная наука. – 1993. – № 5. – С. 20–21.

297. Миркин, Б.М. Сестайнинг агроэкосистем: история, концепция, конструктивный подход / Б.М. Миркин, Ф.Х. Хазиев, Р.М. Хазиахметов. Препринт. – Уфа, 1992. – 36 с.

298. Миркин, Б.М. Экологический императив сельского хозяйства Республики Башкортостан / Б.М. Миркин, Ф.Х. Хазиев, Р.М. Хазиахметов, Н.Р. Бахтизин. – Уфа, 1999. – 176 с.

299. Михаленок, Д.К. Влияние моря на содержание сульфатного и других ионов в атмосферных осадках приморской полосы горного Крыма / Д.К. Михаленок // Заповідна справа України. – 1996. – № 2. – С. 64–69.

300. Моисеев, Н.Н. "Устойчивое развитие" или "Стратегия переходного периода" // Зеленый мир. – 1995. – № 14(185). – С. 3–5.

301. Молчанов, Е.Ф. Техногенное загрязнение атмосферы как экологический фактор в условиях южного берега Крыма / Е.Ф. Молчанов, Л.К. Щербатюк, Л.Ю. Корженевская [и др.] // Изучение природных комплексов ЮБК в связи с их охраной. – Тр. Гос. Никит. ботан. сада. – Ялта : ГНБС, 1980. – Т. 81. – С. 45–53.

302. Моргун, Ф.Т. Почвозащитное земледелие / Ф.Т. Моргун, Н.К. Шикула, А.Г. Тарарико. – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Урожай, 1988. – 256 с.

303. Морковкин, Г.Г. Интенсивность минерализации сидератов и изменение содержания гумуса в черноземах выщелоченных умеренно-засушливой и колочной степи Алтайского края / Г.Г. Морковкин, И.В. Демина // Вестник Алтайского гос. агроун-та. – 2009. – № 1(51). – С. 12–16.

304. Муромцев, Г.С. Роль почвенных микроорганизмов в фосфорном питании растений / Г.С. Муромцев, Г.Н. Маршунова, В.Ф. Павлова, Н.В. Зольникова // Успехи микробиологии. – 1985. – Т. 20. – № 2. – С. 174–198.

305. Мушинский А.С. Мелиорирующие средства и органические удобрения на основе различных отходов / А.С. Мушинский, И.А. Быкова // Вестник РАСХН. – 2003. – № 2. – С. 19–23.

306. Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України ; за наук. ред. С.А. Балюка, М.І. Ромащенка, В.А. Сташука. – К. : Аграрна наука, 2009. – 620 с.

307. Наумова Л.Г. Основы общей экологии : учебник / Л.Г. Наумова, Б.М. Миркин. − М.: Логос, 2003. − 239 с.

308. Національна доповідь про стан навколишнього середовища в Україні у 2006 р. [Електронний ресурс]. − 547 с. – Режим доступу : ttp://www.menr.gov.ua/content /article/ 6004.

309. Національна доповідь про стан навколишнього середовища в Україні у 2009 р. – К. : Центр екологічної освіти та інформації, 2011. – 383 с.

310. Неговелов, С.Ф. Методы оценки садопригодности почв при выборе участков под плодовые насаждения: дисс. … докт. с.-х. наук / Неговелов С.Ф. ; СКЗНИИСиВ. – Краснодар, 1970. – 328 с.

311. Неговелов, С.Ф. Почвы и сады / С.Ф. Неговелов, В.Ф. Вальков. – Ростов-на-Дону : Изд-во Ростовского ун-та, 1985. – 192 с.

312. Нетрусов, А. И. Практикум по микробиологии : учеб. пособие / А.И. Нетрусов, М.А. Егорова, Л.М. Захарчук [и др.] ; под ред. проф. А. И. Нетрусова. – М. : Академия, 2005. – 608 с.

313. Николаева, С.А. Окислительно-восстановительное состояние периодически переувлажняемых черноземных почв / С.А. Николаева, Л.М. Еремина // Почвоведение. – 2005. – № 3. – С. 328–336.

314. Николаевский, В.С. О показателях газоустойчивости древесных растений / В.С. Николаевский. − Труды ин–та биологии. − Свердловск, 1963. − Вып. 31. − С. 70–78.

315. Николаевский, В.С. Биологические основы газоустойчивости растений / В.С. Николаевский. − Новосибирск : Наука, 1979. − 280 с.

316. Никонов, Г.П. Влияние кальцийсодержащих соединений на окультуривание и плодородие солонцеватых почв Донецкой области : автореф. дисс. … канд. с.-х. наук : 06.01.03 / Никонов Г.П. – Харьков, 1978. – 17 с.

317. Новикова, А.В. Прогнозирование вторичного засоления почв при орошении / А.В. Новикова. – К. : Урожай, 1975. – 284 с.

318. Новикова, А.В. История почвенно-мелиоративных исследований засоленных и солонцовых земель Украины (1890–1996) / А.В. Новикова ; науч. ред. член-корр. УААН М.И. Ромащенко. – К. : Изд-во «Світ», 1999. – 143 с.

319. Новикова, А.В. Некоторые особенности галоморфизма, необходимые для уточнения приемов мелиорации солонцовых почв Украины / А.В. Новикова // Вісник ХНАУ. – 2002. – № 1. – С. 9–14.

320. Новикова, А.В. Засоленные почвы, их распространение в мире, окультирование и вопросы экологии / А. В. Новикова ; науч. ред. Д.И. Ромащенко. – Харьков : ХНАУ им. В.В. Докучаева УААН, 2004. – 120 с.

321. Новикова, А.В. Проблема содопроявления на юге Украины при орошении / А.В. Новикова, Н.Е. Гаврилович, В.И. Лазукин [и др.] // Тез. докл. 2 съезда почвоведов и агрохимиков Украинской ССР (Харьков, 21–24 окт., 1986 г.) : пленарн. докл. Почвоведение, мелиорация почв. – Харьков : Укр. НИИ почвоведения и агрохимии, 1986. – С. 142–143.

322. Новикова, А.В. Содопроявление и ощелачивание в богарных и орошаемых почвах юга Украины / А.В. Новикова, Н.Е. Гаврилович ; науч. ред. член-корр. УААН проф. С.А. Балюк. – Харьков : КП «Друкарня № 13», 2007. – 80 с.

323. Новикова, А.Ф. Мелиоративное состояние орошаемых земель Ростовской области / А.Ф. Новикова // Почвоведение. – 2008. – № 5. – С. 599–613.

324. Новикова, А.Ф. Антропогенная трансформация почв северных Ергеней (исследования на первом опытном участке Аршань-Зельменского стационара РАН) / А.Ф. Новикова, М.В. Конюшкова // Почвоведение. – 2013. – № 3. – С. 268–281.

325. Носко, Б.С. Еволюція родючості грунтів в сучасних умовах / Б.С. Носко // Агрохімія і грунтознавство / Грунти, екологія, продовольство. − Харків. − 1998. − Ч. 1. — С. 5–8.

326. Носко, Б.С. Природа залишкових фосфатів та їх роль у підвищенні ефективної родючості ґрунтів / Б.С. Носко // Ґрунтознавство та агрохімія на шляху до сталого розвитку України. Агрохімія і ґрунтознавство : міжвідомч. темат. наук. зб. – Харків, 2002. – Кн. 3. – С. 265–267.

327. Носко, Б.С. Закономерности формирования агрогенного профиля черноземов типичных лесостепи Украины росле распашки целины и многолетней залежи / Б.С. Носко // Почвоведение. – 2013. – № 3. – С. 359–371.

328. Носко, Б.С. Агрогенная эволюция агрохимических показателей черноземов типичных / Б.С. Носко, Е.Ю. Гладких, В.И. Бабынин // Агрохімія і ґрунтознавство : міжвідомч. темат. наук. зб. – 2014. – Вип. 81. – С. 105–112.

329. Обзор загрязнения природной среды в Российской Федерации за 1999 год. – М. : Росгидромет, 2000. – 215 с.

330. Обзор фонового состояния окружающей природной среды на территории стран СНГ за 2006 г. ; под ред. акад. РАН Ю.А. Израэля. – М. : ГУ ИГКЭ Росгидромета и РАН, 2007. – 86 с.

331. Оголенко, Н.А. Эффективность использования органических удобрений в интенсивном земледелии / Н.А. Оголенко // С-х., обзорн. информ., УкрНИИНТИ, сер. Земледелие, агрохимия, с/х мелиорация. – К. – 1989. – Вып. 1. – 29 с.

332. Одум, Ю. Экология : в 2-х томах / Ю. Одум. – М. : Мир, 1986. – Т. 1 – 328 с. – Т. 2. – 376 с.

333. Одум, Ю.П. Свойства агроэкосистем / Ю.П. Одум // Сельскохозяйственные экосистемы. – М. : Агропромиздат, 1987. – С. 12–18.

334. Окультуривание солонцовых почв ; под ред. докт. с.-х. наук А.В. Новиковой. – К. : Урожай, 1984. – 176 с.

335. Ольховский, М.К. Рациональная система содержания почвы в орошаемых пальметтных садах / М.К. Ольховский, П.В. Копышинский // Основы технологии интенсивного садоводства в Украинской ССР. − К., 1978. − С. 54–59.

336. Опанасенко, М.Є. Теоретичні і прикладні основи оцінювання родючості скелетних ґрунтів Криму та освоєння їх під плодові і горіхоплідні культури : автореф. дис. … д-ра с.-г. наук : 06.01.03 / Опанасенко М.Є. – Харків, 2009. – 38 с.

337. Опанасенко, Н.Е. Агроэкологические ресурсы и районирование степного и предгорного Крыма под плодовые культуры / Н.Е. Опанасенко, И.В. Костенко, А.П. Евтушенко. – Симферополь : ООО Изд-во «Научный мир», 2015. – 216 с.

338. Орлов, Д.С. Органическое вещество степных почв Поволжья и процессы его трансформации при орошении / Д.С. Орлов, В.А. Барановская, А.А. Околелова // Почвоведение. − 1987. − № 10. − С. 65–79.

339. Орлов, Д.С. Проблемы контроля и улучшения гумусового состояния почв / Д.С. Орлов // Биологические науки. – 1981. – № 2. – С. 9–20.

340. Орёл, Т.И. Капельное орошение садов Крыма водой различной минерализации и его последствия / Т.И. Орёл // Вісник ДДАУ. – 2011. – № 1. – С. 85–88.

341. Оружев, О.А. Содержание почвы в интенсивных садах / О.А. Оружев, Л.Г. Семочкина // Садоводство, виноградарство и виноделие Молдавии. − 1984. − № 4. − С. 16–7.

342. Павленко, В.Ф. Микроорганизмы почв яблоневых насаждений / В.Ф. Павленко, М.В. Андриенко. – К. : Изд. УСХА, 1995. – 264 с.

343. Патика, В.Ф. Екологічні основи застосування біологічних засобів захисту рослин як альтернативи хімічним пестицидам / В.Ф. Патика, Т.Г. Омельянець // Агроекол. журн. – 2005. – № 2. – С. 21–24.

344. Патика, В.П. Екологія мікроорганізмів / В.П. Патика, Т.Г. Омельянец, И.В. Гриник, В.Ф. Петриненко ; за ред. В.П. Патики. – К. : Основа, 2007. – 192 с.

345. Патика, В.П. Мікроорганізми і альтернативне землеробство / В.П. Патика, І.А. Тихонович, І.Д. Філіп’єв [та ін.]. – К. : Урожай, 1993. – 176 с.

346. Панов, Н.П. Влияние химических мелиорантов в комплексе с бесподстилочным навозом на физические и водно-физические свойства солонцовых почв Заволжья / Н.П. Панов, Н.А. Гончарова, В.Ф. Гайсин // Современные процессы почвообразования и их регулирование в условиях интенсивной системы земледелия. – М., 1985. – С. 47–54.

347. Пат. 2223633 Российская Федерация, A 01 G 17/00, A 01 C 21/00. Способ регулирования генеративной деятельности семечковых культур / Кашин В.И., Дорошенко Т.Н., Дубравина И.В., Чумаков С.С. ; заявитель и патентообладатель КубГАУ. – № 2002132936/12 ; заявл. 09.12.2002 ; опубл. 20.02.2004. − Бюл. № 5.

348. Пат. 19961 С2 Республика Беларусь, А 01 С 1/00, С 12N 1/20. Способ обработки семян и корневой системы сеянцев плодовых культур / Картыжова Л.Е, Алещенкова З.М, Клименко О.Е., Клименко Н.И. ; заявитель и патентообладатель ГНУ Институт микробиологии НАН Беларуси. − № 20121556 ; заявл. 13.11.2012, опубл. 30.04.2016. − Бюл. № 2. − С. 49.

349. Паушева, З.П. Практикум по цитологии растений / З.П. Паушева. – 4-е изд., перераб. и доп. − М. : Агропромиздат, 1988. − 270 с.

350. Петров, В.С. Принципы и методические подходы к формированию устойчивых ампелоценозов [Электронный ресурс] / В.С. Петров. – Плодоводство и виноградарство юга России : темат. сетевой электронный научн. журн. СКЗНИИСиВ. − 2011. − № 6(7). − Режим доступа: http://journal.kubansad.ru/pdf/11/06/07.pdf.

351. Петросян, Г.П. Основные результаты исследований по химической мелиорации засоленных почв Армении / Г.П. Петросян // Вопросы теории и практики повышения плодородия почв. – М. : ВАСХНИЛ, 1981. – С. 35–39.

352. Петросян, Г.П. Улучшение агрохимических свойств солонцов-солончаков Араратской равнины при химической мелиорации / Г.П. Петросян // Доклады ВАСХНИЛ. – 1982. – № 1. – С. 9–11.

353. Петросян, Г.П. Влияние иона натрия на накопление катионов в органах яблони / Г.П. Петросян, В.И. Тарвердян, А.М. Меликян // Тр. НИИ почвоведения и агрохимии АрмССР. – 1977. – № 12. – С. 126–130.

354. Плугатар, Ю.В. Із лісів Криму. Монографія / Ю.В. Плугатар. – Харьков : Новое слово, 2008. – 462 с.

355. Плугатарь, Ю.В. К созданию промышленных садов косточковых и орехоплодных культур в Крыму / Ю.В. Плугатарь, А.В. Смыков, Н.Е. Опанасенко, И.В. Костенко, Е.П. Шоферистов [и др.] – Ялта, 2013. – 82 с.

356. Плугатарь Ю.В. Проблема «кислотных осадков» на Южном берегу Крыма и их влияние на растительный мир / Ю.В. Плугатарь, О.А. Ильницкий, С.П. Корсакова // Бюл. Гос. Никит. ботан. сада. – 2014. – Вып. 111. – С. 7–21.

357. Плугатарь, Ю.В. Некоторые проблемы организации системы защитных лесных насаждений в степном Крыму / Ю.В. Плугатарь, В.П. Коба // Бюл. Гос. Никит. ботан. сада. – 2014. – Вып. 110. – С. 7–14.

358. Плугатарь, Ю.В. Создание и оптимизация защитных насаждений в Крыму / Ю.В. Плугатарь, В.В. Корженевский // Бюл. Гос. Никит. ботан. сада. – 2014. – Вып. 113. – С. 7–17.

359. Плугатарь, Ю.В. Перспективы развития садоводства в Крыму / Ю.В. Плугатарь, А.В. Смыков // Тр. Гос. Никит. ботан. сада. – 2015. – Т. 140. – С. 5–18.

360. Подгородецкий, П.Д. Крым: Природа : справ. изд. / П.Д. Подгородецкий. – Симферополь: Таврия, 1988. – 192 с.

361. Подуфалый, Т.И. Итоги исследований по орошению, обработке, удобрению и содержанию почвы в садах / Т.И. Подуфалый. − Крымиздат, 1958. − С. 36–57.

362. Подуфалый, Т.И. Орошение, удобрение, обработка и содержание почвы в садах / Подуфалый Т.И. − Симферополь : Крымиздат, 1959. − 38 с.

363. Подуфалый, Т.И. Сидераты заменяют навоз / Т.И. Подуфалый // Виноградарство и садоводство Крыма. − 1961. − № 7. − С. 18–19.

364. Подуфалый, Т.И. Обработка и содержание почвы в плодоносящих садах юга Украины / Т.И. Подуфалый // Садоводство. – К. : Урожай, 1965. – Вып. 3. – С. 38–47.

365. Позаченюк, Е.А. Экологический аудит территорий (на примере равнинного Крыма) [Электронный ресурс] / Е.А. Позаченюк, И.В. Завальнюк. – Симферополь, 2006. – Ресурс доступа: http://www.studfiles.ru/preview/1093186/.

366. Половицкий, И.Я. Почвы Крыма и повышение их плодородия : справочное издание / И.Я. Половицкий, П.Г. Гусев. – Симферополь : Таврия, 1987. – 152 с.

367. Полупан, Н.И. Эволюция орошаемых почв юга Украины и пути управления ею / Н.И. Полупан : тез. докл. 2 съезда почвоведов и агрохимиков УССР. – Харьков : Прапор, 1986. – С. 22–23.

368. Полупан, Н.И. Теоретичні основи нагромадження гумусу в природних умовах, його еволюція та управління ним в агроценозах / М.І. Полупан, В.Т. Ковальов // Вісн. аграр. науки. – 1997. − № 9. − С. 21–26.

369. Поляков, А.К. Интродукция древесных растений в условиях техногенной среды / А. К. Поляков ; под общ. ред. чл. корр. НАН Украины А.З. Глухова. – Донецк. : Ноулидж (Донецкое отделение), 2009. − 268 с.

370. Поляков, А.Ф. Лесные формации Крыма и их экологическая роль / А.Ф. Поляков, Ю.В. Плугатарь. – Харьков : Новое слово, 2009. – 405 с.

371. Помология: в 5 т. Т. 3. : Абрикос, персик, алыча / [Н. Г. Агеева, В. М. Горина, Т. С. Елманова и др.] ; под общ. ред. М. В. Андриенко ; научн. ред. О. Д. Чиж, В. В. Павлюк. – К. : Урожай, 1997. — 280 с.

372. Помология: в 5 т. Т. 4. : Слива, вишня, черешня / [Н.И. Туровцев, Л.И. Тараненко, В.В. Павлюк и др.] ; под общ. ред. М.В. Андриенко, П.В. Кондратенко ; научн. ред. В.В. Павлюк. – К. : Урожай, 2004. – 272 с.

373. Попова, В.П. Влияние способов мульчирования междурядий плодового сада на физико-химические свойства и температурный режим выщелоченных черноземов / В.П. Попова // Проблемы черноземов Северного Кавказа. – Краснодар, 1993. – С. 43–44.

374. Попова, В.П. Агроэкологические аспекты формирования продуктивных садовых экосистем / В.П. Попова. − Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2005. − 242 с.

375. Попова, В.П. Управление плодородием почвы [Электронный ресурс] / В.П. Попова // Плодоводство и виноградарство юга России : тематич. сетевой электронный научн. журн. СКЗНИИСиВ. — Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2010. – № 6(5). – Режим доступа : http://kubansad.ru.

376. Попова, В.П. Экологические особенности режимов питания яблони / В.П. Попова, Т.Г. Фоменко // Плодоводство и виноградарство юга России. – 2011. – № 8. – С. 56–64.

377. Попова, В.П. Сохранение плодородия почв плодовых насаждений на биоценотической основе [Электронный ресурс] / В.П. Попова, Н.В. Чернявская //

Плодоводство и виноградарство Юга России : тематич. сетевой электронный научн. Журн. СКЗНИИСиВ. – Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2012. – № 11. – Режим доступа: http://journal.kubansad.ru/aut/arhive.

378. Почвы Украины и повышение их плодородия ; под ред. Б.С. Носко, В.В. Медведева, Р.С. Трускавецкого, Г.Я. Чесняка. – К. : Урожай, 1988. – Т. 2. – 176 с.

379. Практикум по агрохимии : учеб. пособие ; под ред. академика РАСХН В.Г. Минеева. – 2-е изд., перераб. и доп.. – М. : Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.

380. Практикум по физиологии растений ; под ред. проф. И.И. Гунара. − М. : Колос, 1972. − 168 с.

381. Придорогин, М.В. Концепция статусов «садовых систем», их ранжира и проблемы плодоводства / М.В. Придорогин // Вестник МичГАУ. – 2010. – № 2. – С. 50–59.

382. Придорогин, М.В. Рельеф Окско-Донской равнины и его влияние на экологию садового ландшафта / М.В. Придорогин, В.К. Придорогин, Вл.К. Придорогин. – Мичуринск, 2006. – 656 с.

383. Проворов, Н.А. Генетико-эволюционные основы учения о симбиозе // Ж. общ. биол. – 2001. – Т. 62. – С. 472–495.

384. Программа действий. Повестка дня на 21 век и другие документы конференции в Рио-де-Жанейро в популярном изложении. – Женева : Центр «За наше общее будущее», 1993. – 70 с.

385. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур ; под общ. ред. Г.А. Лобанова. − Мичуринск, 1973. − 492 с.

386. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур ; под ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. − Орел, 1999. − 608 с.

387. Работнов, Т.А. Актуальные вопросы экологии растений / Т.А. Работнов // Итоги науки и техники. Ботаника. – М. : Изд-во ВИНИТИ, 1979. – Т. 3. − С. 5–70.

388. Разумова, М.М. Динамические изменения pH и состава поглощенных катионов в орошаемых черноземах Заволжья / М.М. Разумова // Почвоведение. – 1977. – № 7. – С. 81–88.

389. Рассел, Э. Почвенные условия и рост растений / Э. Рассел. – М. : Изд-во иностр. лит., 1955. – 623 с.

390. Рачковская, М.М. Изменение активности некоторых оксидаз как показатель адаптации растений к условиям промышленного загрязнения / М.М. Рачковская, Л.О. Ким // Газоустойчивость растений. — Новосибирск : Наука, 1980. – С. 117–125.

391. Рекомендации по применению удобрений в плодовых и ягодных насаждениях. – М., 1983. – 43 с.

392. Рекомендации по повышению плодородия почв солонцового комплекса юга Украины. – К.: УкрНИИГиМ, 1980. – 18 с.

393. Родынюк, И.С. Биологическая фиксация азота. – Новосибирск : Наука, 1991. – 142 с.

394. Родючість грунтів: моніторинг та управління / В.В. Медведєв, Г.Я. Чесняк, Т.М. Лактионова [та ін.] ; за ред.. В.В. Медведєва. – К. : Урожай, 1992. – 248 с.

395. Розанов, А.Б. Экологические последствия антропогенных изменений почв / А.Б. Розанов, Б.Г. Розанов // Итоги науки и техники. Почвоведение и агрохимия. Т.7. – М. : ВИНИТИ, 1990. – 153 с.

396. Розанов, Б.Г. Гумусное состояние черноземов при орошении / Б.Г. Розанов // Орошаемые черноземы. – М., 1989. – 239 с.

397. Розенберг, Г.С. Устойчивое развитие: мифы и реальность / Г.С. Розенберг, Г.П. Краснощеков, Ю.М. Крылов и др. – Тольятти : ИЭВБ РАН, 1998. – 191 с.

398. Розенберг, Г.С. Устойчивое развитие (Рио + 20) и «Основы государственной политики в области экономического развития России» / Г.С. Розенберг, С.В. Саксонов, А.Г. Зибарев // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т. 14. – №1(3). – С. 716–723.

399. Ромащенко, М.І. Зрошення земель в Україні: стан та шляхи поліпшення / М.І. Ромащенко, С.А. Балюк. – К.: Світ, 2000. – 114 с.

400. Рубин, С.С. Содержание почвы и удобрение в интенсивных садах / С.С. Рубин. − М. : Колос, 1983. − 272 с.

401. Руководство по контролю и регулированию почвенного плодородия орошаемых земель при их использовании / Н.С. Скуратов [и др.]. – Новочеркасск. – 2000. – 86 с.

402. Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв ; сост. Хитров Н.Б., Понизовский А.А. – М. : Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1990. – 236 с.

403. Рябов, В.А. Влияние глобального потепления на местный климат и возможные последствия для плодовых культур / В.А. Рябов // Наук. праці ПФ НУБіПУ «КАТУ». − Сімферополь, 2011. − Вип. 137. − С. 127–37.

404. Рябцева, Т.В. Применение в саду яблони биологических и минеральных удобрений при разных системах содержания междурядий / Т.В. Рябцева // Плодоводство. – Самохваловичи, 2004. – Т. 16. – С. 119–126.

405. Рябцева Т.В. Влияние биологических и минеральных удобрений на биохимический состав плодов, листьев и агрохимические показатели почвы в саду яблони / Т.В. Рябцева, С.Л. Липская, О.И. Камзолова // Плодоводство. – Самохваловичи, 2005. – Т. 17. – Ч. 1. – С. 166–171.

406. Сабинин, Д.А. Избранные труды по минеральному питанию растений / Д.А. Сабинин. − М. : Наука, 1971. − 512 с.

407. Савельева, Н.Н. Генетический потенциал исходных форм яблони для создания устойчивых к парше и интенсивных колонновидных сортов : автореф. дисс. … докт. биол. наук : 06.01.05 : защищена 14.08.2015 / Савельева Наталья Николаевна. – Рамонь, 2015. – 47 с.

408. Сады и виноградники Крымской области. Итоги Всесоюзной переписи плодово-ягодных насаждений и виноградников в 1984 году. – Симферополь, 1984. – 366 с.

409. Садыков, Б.Ф. Биологическая азотфиксация в агроценозах / Б.Ф. Садыков. – Уфа : БНЦ УрО АН СССР, 1989. – 109 с.

410. Самохвалов, С.Г. Методические указания по атомно-абсорбционному определению микроэлементов в вытяжках из почв и в растворах золы кормов и растений / С.Г. Самохвалов, Н.А. Чеботарева. – М.: ЦИНАО, 1977. – 34 с.

411. Сафонова, О.П. Якість та оцінка придатності поливних вод для зрошення в умовах півдня України / О.П. Сафонова, Б.І. Червінець, А.М. Коваленко, В.В. Морозов // Агрохімія і ґрунтознавство : респ. міжвід. темат. наук. зб. − Спец. вип. до 5 з'їзду УТГА. – Харків, 1998. – Кн. 3. – С. 175–177.

412. Семендяева, Н.В. Теоретические и практические аспекты химической мелиорации солонцов Западной Сибири / Н.В. Семендяева. – Новосибирск, 2005. – 154 с.

413. Семендяева, Н.В. Плодородие солонцов Барабинской низменности при одноразовом внесении гипса / Н.В. Семендяева, Е.А. Куп // Плодородие. – 2010. – № 7. – С. 30–32.

414. Семенюк, Г.М. Диагностика минерального питания плодовых культур / Г.М. Семенюк. – Кишинев : Штиинца, 1983. – 324 с.

415. Скуратов, Н.С. Ощелачивание почв под влиянием орошения и пути его устранения / Н.С. Скуратов, Л.М. Докучаева // Вопросы мелиоративного состояния орошаемых земель и использования водных ресурсов Северного Кавказа : сб. науч. тр. ГУ «ЮжНИИГиМ». – Новочеркасск, 1983. – С. 23–28.

416. Скуратов, Н.С. Использование и охрана орошаемых черноземов / Н.С. Скуратов, Л.М. Докучаева, О.Ю. Шалашова. – М., 2001. – 246 с.

417. Скуратов, Н.С. Использование фосфогипса и глиногипса для мелиорации лугово-степных орошаемых солонцов / Н.С. Скуратов, З.С. Науменко // Мелиоративное состояние орошаемых земель и использование водных ресурсов : сб. науч. тр. ГУ «ЮжНИИГиМ». – Новочеркасск, 1984. – С. 3–8.

418. Славный, Ю.А. Изменение солевого состава жидкой фазы почвогрунтов в степных солонцовых комплексах Прикаспийского Заволжья при

орошении / Ю.А. Славный, И.Б. Мельникова, Е.М. Орлова // Почвоведение. – 1973. – № 11. – С. 92–100.

419. Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий : монография ; науч. ред. Е.А. Позаченюк. – Симферополь : Бизнес-Информ, 2009. – 672 с.

420. Содержание почвы в садах (рекомендации). – Краснодар, 1982. – 14 с.

421. Спиваковский, Н.Д. Основные вопросы методики стационарных полевых опытов в садоводстве. Методические указания по географической сети опытов с удобрениями / Н.Д. Спиваковский. – 1963. – Вып. 9. – С. 13–17.

422. Способы мелиорации орошаемых солонцовых почв / Г.Т. Балакай, Л.М. Докучаева, Р.Е. Юркова [и др.] // Научный обзор. – Новочеркасск : ФГНУ «РосНИИПМ», 2011. – 73 с.

423. Сравнительная эффективность приемов основной обработки солонцовых почв по их влиянию на урожайность ячменя в условиях аридного земледелия Нижнего Поволжья / Проблемы социально-экономического развития аридных территорий России / В.П. Зволинский [и др.] ; под ред. В.П. Зволинского. – М. : Современные тетради, 2001. – 424 с.

424. Станкевич, С.А. Картирование загрязненности атмосферы Приднепровского промышленного района диоксидами азота и серы с использованием спутниковых данных / С.А. Станкевич, О.В. Титаренко, Н.Н. Харитонов, В.Н. Хлопова // Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine – 2013. – № 3. – С. 106–111.

425. Стасенко, В.А. Анатомо-морфологические изменения *Robinia pseudoacacia* L. как показатель состояния окружающей природной среды / В.А. Стасенко, С.П. Швиндлерман, Л.М. Осипова // Вопросы биоиндикации и экологии. – Запорожье, 1997. – Вып. 2. – С. 97–101.

426. Статистичний збірник «Регіони України» ; за ред. О.Г. Осауленка ; відпов. за випуск Н.С. Власенко. – К. : Держстат України, 2013. – Ч. 2. – 783 с.

427. Статистичний щорічник України за 2010 рік ; за ред. О.Г. Осауленка ; відпов. за випуск Н.П. Павленко. – К. : ТОВ «Август Трейд», 2011. – 560 с.

428. Степанова, О.И. Влияние длительного задернения почвы в орошаемых садах на ее физико-химические свойства / О.И. Степанова, Л.С. Шабанова // Садоводство, виноградарство и виноделие Молдавии. – 1982. – № 8. – С. 20–22.

429. Сторчоус, В.Н. Влияние капельного орощения на изменение почв / Ґрунтознавство та агрохімія на шляху до сталого розвитку України / В.Н.Сторчоус // Агрохімія і ґрунтознавство : респ. міжвід. темат. наук. зб. – Харків, 2002. – Кн. 2. – С. 289–291.

430. Строгонов, Б.П. Растение и засоленные почвы / Б.П. Строгонов. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 140 с.

431. Строгонов, Б.П. Физиологические основы солеустойчивости растений: (при разнокачественном засолении почвы) / Б.П. Строгонов. – М. : Изд. АН СССР, 1962. – 363 с.

432. Сэги, Й. Методы почвенной микробиологии / Й. Сэги. – Минск : Колас, 1983. – 296 с.

433. Тарабрин, В.П. Фитотоксичность органических и неорганических загрязнителей (Проблемы промышленной ботаники) / В.П. Тарабрин, Е.Н. Кондратюк, В.Г. Башкатов [и др.] ; ред. Е.Н. Кондратюк. – К. : Наукова думка, 1986. – 215 с.

434. Татаринов, А.Н. Питомник плодовых и ягодных культур / А.Н. Татаринов, В.Ф. Зуев. – М. : Россельхозиздат, 1984. – 270 с.

435. Тихонович, И.А. Симбиозы растений и микроорганизмов: молекулярная генетика агросистем будущего / И.А. Тихонович, Н.А. Проворов. – СПб.: Изд-во С-Петерб. ун-та, 2009. – 210 с.

436. Тюльпанов, В.И. Влияние химической мелиорации на плодородие черноземных лугово-степных солончаковатых солонцов / В.И. Тюльпанов [и др.]. – Тр. Ставропольского с.-х. ин-та. – Ставрополь, 1980. – Т. 1. – Вып. 42. – С. 47–49.

437. Уиттекер, Р. Сообщества и экосистемы. – М.: Прогресс, 1980. – 328 с.

438. Удовенко, Г.В. Состояние и пути решения проблемы солеустойчивости растений / Г.В. Удовенко. – М., 1978. – 40 с. (Обзор. инф. ВНИИТЭ и сельхоз. ВАСХНИЛ. – Сер. Растениеводство и биология с.-х. растений).

439. Удовенко, Г.В. Механизмы адаптации растений к стрессам / Г.В. Удовенко // Физиол. и биохим. культ. растений. – 1979. – 11(2). – С. 99–107.

440. Федоткин, В.А. Последействие фосфогипса на химические свойства луговых солонцов / В.А. Федоткин, Л.Н. Скипин, С.А. Гузеева // Плодородие. – 2007. – № 2. – С. 15–16.

441. Физиология плодовых растений ; под ред. и с предисл. Р. П. Кудрявца : пер. с нем. Л.К. Садовской, Л.В. Соловьевой, Л.В. Швергуновой. — М. : Колос, 1983. – 416 с.

442. Флавин, К. Наследие Рио // Россия в окружающем мире. – М.: МНЭПУ, 1998. – С. 7–39.

443. Формы микробных препаратов для сельского хозяйства / Т.Н. Мельничук, И.А. Каменева, Л.Ю. Гритчина [и др.] // Бюл. ЦНОАП. – Симферополь : КГФУКЦ, 2007. – 8 с.

444. Хазиахметов, Р.М. Экологически-ориентированное управление структурой и функцией агроэкосистем / Р.М. Хазиахметов: дис. … докт. биол. наук : 03.00.16. / Хазиахметов Рашит Мухаметович. – Уфа, 2002. – 308 с.

445. Хазиахметов, Р.М. Биологические аспекты развития агроэкологии / Р.М. Хазиахметов, Л.Г. Наумова // Успехи современной биологии. – 1996. – Т. 116. – Вып. 5. – С. 517 – 532.

446. Харьковская, Э.В. Формирование животного и микробного населения агроценозов / Э.В. Харьковская // Агроэкологический вестник. – Воронеж: ВГАУ, 1997. – Вып. 1. – С. 128–133.

447. Хейуорд, Х. Факторы, влияющие на рост растений на засоленных почвах / Х. Хейуорд, Л. Бернштейн // Сел. хоз-во за рубежом. – 1959. – № 9. – С. 11–50.

448. Церлинг, В.В. Агрохимические основы диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур / В.В. Церлинг. – М.: Наука, 1978. – 216 с.

449. Церлинг, В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур : справочник / В.В. Церлинг. – М. : Агропромиздат, 1990. – 235 с.

450. Цуриков, А.Т. Практические рекомендации по мелиорации солонцовых почв ЦЧП / А.Т. Цуриков, К.Д. Кирпиченко, В.В. Кирпиченко // Теоретические основы и опыт мелиоративной обработки и химической мелиорации солонцовых почв / ВНИИ зернового хозяйства. – Целиноград, 1980. – С. 86–87.

451. Цюрупа, И.Г. Научные основы и опыт мелиорации солонцов / И.Г. Цюрупа, И.Н. Любимова; под ред. Э.А. Корнблюма. – М., 1983. – 158 с.

452. Чайковська, Л.О. Наукове обґрунтування біологічної мобілізації фосфору в агроекосистемах південного степу України : автореф. дисс. … д-ра с.-г. наук: 03.00.07 / Чайковська Людмила Олександрівна. – К. : 2004. – 37 с.

453. Чайковська, Л.О. Біофосфор і його роль в підвищенні продуктивності рослин / Л.О. Чайковська, В.П. Патика // Вісник аграрної науки. – 2000. – № 9. – С. 21–23.

454. Чапко, П.М. Раціональне використання та підвищення родючості грунтів у сучасному землеробстві / П.М. Чапко // Тези допов. 4 з’їзду грунтознавців та агрохіміків України. Грунтознавство та меліорація. – Харків, 1994. – С. 160–161.

455. Чаусова, Л.А. Эколого-токсикологические аспекты применения фосфогипса / Л.А. Чаусова // Агрохімія і ґрунтознавство : між від. темат. наук. зб. − Спец. вип. до 7 зїзду УТГА. – 2006. – Кн. 2. – С. 312–314.

456. Чаусова, Л.А. Прогнозирование содообразования в оросительных водах / Л.А. Чаусова, С.А. Балюк // Агрохімія і ґрунтознавство : міжвід. темат. наук. зб. – Спец випуск до 5 зїзду УТГА. – 1998. – Кн. 3. – С. 178–179.

457. Чеботарь, В.К. Эффективность применения биопрепарата экстрасол / В.К. Чеботарь, А.А. Завалин, Е.Н. Кипрушкина. – М. : Изд. ВНИИА, 2007. – 216 с.

458. Чендлер, У. Плодовый сад / У. Чендлер : пер. с англ. – М. : Изд-во иностр. лит., 1960. – 624 с.

459. Чепмен, Х. О критерии для диагностики условий питания цитрусовых / Х. Чепмен // Анализ растений и проблемы удобрений : пер. с англ. – М. : Колос, 1964. – С. 104–147.

460. Черепахина, О.А. Урожайность яблоневых садов и водно-физические свойства почвы в связи с применением сидератов / О.А. Черепахина // Тр. всесоюзн. с.-х. ин-та заочн. образов. − 1979. − № 163. − С. 83–87.

461. Черненькова, Т.В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение / Т.В. Черненькова. – М. : Наука, 2002. – 192 с.

462. Черных, Н.А. Качество растениеводческой продукции при загрязнении почв / Н.А. Черных, И.Н. Черных // Химия в сельском хозяйстве. − 1994. − № 2. − С. 27–28.

463. Чернявская, Н.В. Оптимизация системы содержания почвы в плодовых садах на биоценотической основе : автореф. дисс. … канд с.-х. н. : 06.01.08. / Чернявская Н.В. – Краснодар, 2013. – 24 с.

464. Читчян, А.И. К вопросу мелиорации содовых солонцов-солончаков Араратской равнины железным купоросом // Мелиорация солонцов. – М., 1972. – Ч. 2. – С. 169–183.

465. Чупрова, В.В. Влияние сидератов на интенсивность продукционно-деструкционных процессов в агроэкосистемах средней Сибири / В.В. Чупрова // Агрохимия. − 1995. − № 11. − С. 31–41.

466. Чупрова, В.В. Влияние сидератов на азотный режим чернозема выщелоченного Красноярской лесостепи / В.В. Чупрова, Г.А. Евсеева // Агрохимия. − 1990. − № 10. − С. 8–16.

467. Чурагулова, З.С. Черноземы оподзоленные и изменение лесорастительных свойств при выращивании посадочного материала / З.С. Чурагулова, Ф.В. Садыкова // Лесной вестник. – 2000. – № 3. – С. 116–127.

468. Чурагулова, З.С. Почвенные условия выращивания сеянцев и саженцев древесных растений: основы минерального питания / З.С. Чурагулова. – Уфа : Гилем, Башк. Энцикл., 2014. – 392 с.

469. Шалашова, О.Ю. Новые удобрительно-мелиорирующие средства для мелиорации деградированных почв / О.Ю. Шалашова // Безопасность водохозяйственных объектов юга России и мелиорация антропогенных ландшафтов : мат. Всероссийск. науч.-практ. конф. (Новочеркасск, 24-25 января 2008 г.). – Новочеркасск, 2008. – С. 48–56.

470. Шапар, А.Г. Сучасні масштабні екологічні проблеми в контексті сталого розвитку / А.Г. Шапар // Екологія і природокористування : зб. наук. праць ин-та проблем природокористування та екології НАН України. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 12. – С. 6–9.

471. Шевякова, Н.И. Изменение содержания сульфгидрильных групп в растениях в условиях засоления / Н.И. Шевякова, А.П. Лошадкина // Физиология растений. – 1965. – Т. 12. – С. 280–286.

472. Ши, П. Влияние La на активность ферментов, инактивирующих активные формы кислорода в листьях проростков огурца / П. Ши, Г.С. Чен, В. Чж. Хуан // Физиология растений. – Т. 52. – № 3. – С. 338–342.

473. Шикула, М.К. Відтворення родючості у ґрунтозахисному землеробстві / М.К. Шикула, О.Ф. Ігнатенко, М.В. Капштик [та ін.]. – К. : Оранта, 1998. – 680 с.

474. Шикула, М.К. Концепція біологічного землеробства на чорноземних грунтах / Н.К. Шикула // Вісник ХНАУ. – 2004. – №1. Землеробство. – С. 236–241.

475. Шикула, Н.К. Минимальная обработка черноземов и воспроизводство их плодородия / Н.К. Шикула, Г.В. Назаренко. — М. : Агропромиздат, 1990. — 320 с.

476. Шитт, П.Г. Учение о росте и развитии плодовых и ягодных растений / П.Г. Шитт. – М. : Сельхозиздат, 1958. – 446 с.

477. Шитт, П.Г. Избранные сочинения / П.Г. Шитт. – М. : Колос, 1968. – 584 с.

478. Шконде, Э.И. Азот как фактор плодородия садовых почв // Почвенные условия, удобрения и урожайность плодовых и ягодных культур / Э.И. Шконде, Т.И. Бутенко // Матер. Всесоюз. науч.-произв. конф. 18–20 мар. 1968. – К. : Урожай, 1970. – С. 490–500.

479. Шотт, П.Р. Биологическая фиксация азота в однолетних агроценозах лесостепной зоны Западной Сибири : автореф. дисс. … д-ра с.-х. наук / Шотт П.Р. – Барнаул, 2007. – 39 с.

480. Щербатюк, Л.К. Опыт экологического мониторинга в Крыму: соединения серы и лесные насаждения / Л.К. Щербатюк. – Ялта, 2002. – 140 с.

481. Эколого-рекреационный рециклинг фосфогипса в черноземе на примере Краснодарского края / Н. И. Мищенко [и др.] // Плодородие. – 2009. – № 6. – С. 25–26.

482. Эммерт, Ф. Влияние взаимодействия ионов на состав растительных тканей / Ф. Эммерт // Анализ растений и проблемы удобрений ; предисл. и ред. Петербургского А.В. : пер. с англ. Чебановой Т.Л. – М. : Колос, 1964. – С. 218–233.

483. Юмашев, Н.П. Роль сидератов в сохранении плодородия черноземных почв / Н.П. Юмашев, И.А. Трунов, А.П. Полтинин [и др.] // АГРО XXI. − 2008. − № 10–12. − С. 50–51.

484. Agrawal, M. Use of ethylenediurea to assess the effects of ambient ozone on *Vigna radiata* / M. Agrawal, M. Rajput, R.K. Singh // Int. J. Biotronics. − 2003. − V. 32. − P. 35–48.

485. Agrawal, M. Effects of air pollution on agriculture: an issue of national concern / M. Agrawal // Source Technology Development Policy Issues. − 2005. − V. 28. − P. 93–104.

486. Alonso, R. Interactive effects of ozone and drought stress on pigments and activities of antioxidative enzymes in *Pinus halepensis* / R. Alonso, S. Elvira, F.J. Castillo, B.S. Gimeno // Plant, Cell and Environment. – 2001. – V. 24. – P. 905–916.

487. Alscher, R.G. Biosinthesis and antioxidant function of glutathione in plants // Phisiol. Plant. − 1989. − V. 77. – № 2. − P. 457–464.

488. Andersson, C. Inter-annual variations of ozone and nitrogen dioxide over Europe during 1958 – 2003 simulated with a regional CMT / C. Andersson, J. Langner // Acid rain – deposition to recovery ; ed. by P. Brimblecombe, H. Hara, D. Houle, M. Novak. – The Netherlands : Springer, 2007. – P. 15–23.

489. Arisci, S. Atmospheric deposition chemistry in Italian forested sites / S. Arisci, A. Marchetto, R. Mosello, M. Rogora // Acid rain 2011 : abstr. of 8th Intern. conf. of acid deposition, Beijing, China, 16–18 June 2011. − Beijing: LARS. − 2011. − P. 114.

490. Ashmore, M. R. A new generation of ozone critical levels for the protection of vegetation in Europe / M.R. Ashmore, L.D. Emberson, P.E. Karlson, H. Pleijel // Atmos. environ. – 2004. – V. 38. – P. 2213–2214.

491. Aslantas, R. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on young apple tree growth fruit yield under orchard condition / R. Aslantas, R. Cakmakci, F. Sahin // Scientia Horticulture. – 2007. – V. 11. – № 4. – P. 371–377.

492. Avila, A. Relationship between precipitation chemistry and meteorological situation at a rural site in NE Spain / A. Avila, M. Alarcŏn // Atmos. Environ. − 1999. − V. 33. − P. 1663–1677.

493. Barbiéro, L. Residual alkalinity as tracer to estimate the changes induced by forage cultivation in a non-saline irrigated sodic soil / L. Barbiéro, V. Valles, A. Régeard, C. Cheverry // Agricultural Water Management. – 2001. – V. 50. – Issue 3. – P. 229–241.

494. Bell, J.N.B. Air pollution and plant life / J.N.B. Bell, M. Treshow ; ed. by M. Treshow. – 2nd ed. – West Sussex, England : J. Wiley & Sons, 2002. − 465 p.

495. Bergmann, V. Erkennen und Vermeiden von Mikronahrstoffmangel im Obstbau / V. Bergmann // Kurzdokumentation. – Jena, 1979. – P. 1–20.

496. Bernstain, L. Effect of salinity on mineral composition and growth of plants / L. Bernstain // Proc. 4th Int. Coll. Plant analysis and Fertilizes Problems. – Washington, 1964. – V. 4. – P. 25–45.

497. Bhadauria, S. Sustainable land use planning through utilization of alkaline wasteland by biotechnological intervention / S. Bhadauria, M.S. Sengar, D. Mohan,

D.C. Singh, B.S. Kushwah // Middle-East Journal of Scientific Research. – 2010. – V. 6. – № 6. – P. 580–592.

498. Blackman, F.F. Optima and limiting factors / F.F. Blackman // Ann. Botany. – 1905. – V. 19. – P. 281–298.

499. Bower, C.A. Calcium and magnesium deficiencies in alkali soils / C.A. Bower, L.M. Turk // J. Amer. Soc. Agron. – 1964. – V. 38. – № 8. – P. 273–275.

500. Brimblecombe, P. Future damage to material Heritage / P. Brimblecombe // Acid rain 2011 : abstracts of 8th Intern. conf. of acid deposition, Beijing, China, 16–18 June 2011. − Beijing : LARS. − 2011. − P. 132–133.

501. Brinelf, O. Long range transport of air pollutants and acid precipitation / O. Brinelf, H. Dovland, A. Semb // Air pollution and plant life ; ed. by M. Treshow. − Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore : J. Wiley & Sons. − 1984. − P. 60–97.

502. Brown, L.R. Facing Food Insecurity / L.R. Brown // State of the World. 1994. A Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society. – New York, London : W.W. Norton & Company, 1994. – P. 177–197.

503. Brown, L.R. Who Will Feed China? Wake-Up Call for a Small Planet / L.R. Brown. – New York, London : W.W. Norton & company, 1995. – 164 p.

504. Brown, L.R. Tough Choices. Facing the Challenge of food Scarcity / L.R. Brown. – New York, London : W.W. Norton &. Company, 1996. – 160 p.

505. Brown, L. Managing low-output agroecosystems sustainability : The importance of ecological the sholds / L. Brown, J. Herrick, D. Price // Can. J. Forest Res. – 1999. – V. 29. – № 7. – P. 1112–1119.

506. Cleaning the air. 25 year of convention on long-range transboundary air pollution ; ed. J. Sliggers, W. Kakebeeke. – New York, Geneva : Unated Nations, 2004. – 167 p.

507. Cottam, N.D. Effect of simulated acid rain on glutathion levels in reddish / N.D. Cottam, C.J. Cooke, C.J. Smith // Biochemical Society transactions. − 1992. − V. 20. – № 4. − P. 370.

508. Ecological effects of intensive agriculture (first attempt of a synthesis). – Warszawa : Holish sci. publ., 1974. – 84 p.

509. El-Gabaly, M. Salinity and water logging in the Near East Region / M. El-Gabaly // Ambio. – 1971. – V. 6. – P. 36.

510. Emberson, L. Impact of air pollutants on vegetation in developing countries / L. Emberson, M. Ashmore, F. Murrey [et al.] // Water, Air and Soil pollut. − 2001. − V. 130. − P. 107–118.

511. Emberson, L. Air pollution impacts on crops and forest: a global assessment / L. Emberson, M.R. Ashmore, F. Murray. − London : Imperial College Press, 2003. − P. 25–67.

512. Feng, Z. Chemical composition of precipitation in Beijing area, northern China / Z. Feng, Y. Huang, Y. Feng [et al.] // Water, Air and Soil pollut. − 2001. − V. 125. − P. 345–356.

513. Finck, A. Bodenreaktion und Pflanzenwachstum // Schriftenz Landwirtsch. – Fak. univ. Kiel. – 1967. – № 41. – p. 5–30.

514. Forsline, P.L. Growth changes of apple seedlings in response to simulated acid rain / P.L. Forsline, R.J. Dee, R.E. Melious // J. Amer. Hort. Sci. − 1983. − V. 108. – № 2. − P. 202–207.

515. Forsline, P.L. Effect of acid rain on grapevines / P.L. Forsline, R.C. Musselman, R.J. Dee, W.J. Kender // Am. J. Enol. Vitic. − 1983a. − V. 34. − P. 17–22.

516. Foster, J.R. Influence of pH and plant nutrient status ion fluxes between tomato plants and simulated acid mist / J.R. Foster // New Phytologist. − 1990. − V. 116. – № 3. − P. 475–485.

517. Fowler, D. Long term trends in sulphur and nitrogen deposition in Europe and the cause of nonlinearities / D. Flower, R. Smith, J. Muller [et al.] // Acid rain – deposition to recovery ; ed. by P. Brimblecomb [et al.]. − The Netherlands : Springer, 2007. − P. 41–47.

518. Galloway, J.N. Acid rain: China, United states and remote area / J.N. Galloway, D. Zhao, J. Xinng, G.E. Viknas // Science. − 1987. − V. 236. − P. 1559–1562.

519. Gilbert, R.O. Statistical methods for environment monitoring / R.O. Gilbert. − New York : John Wiley & Sans. Inc., 1987. − 336 p.

520. Grzyb, Z.S. Effect of different fertilizers and amendments on the growth of apple and sour cherry rootstocks in an organic nursery / Z.S. Grzyb, W. Piotrowski, P. Bielicki, L. Sas Paszt, E. Malusà // J. of Fruit and Ornamental Plant Research. – 2012. – V. 20(1). – P. 43–53.

521. Halliwell, B. Superoxide dismutase. The toxic effects of oxygen on plant tissues / B. Halliwell ; ed. L.W. Olrley. − London : CRC Press. Boca Ration, 1982. − V. 1. − P. 89–123.

522. Hasebe, T. Visible injury to fruit trees due to sulfur dioxide fumigation / T. Hasebe, N. Ichikava, Y. Yamagami, H. Kurocava // Bul. of Hokkaido Prefectural Agricaltural Experimental Station. − 1987. − V. 56. − C. 9–17.

523. Hauward, H.E. Plant growth on saline and alkaline soils / H.E. Hauward, C.H. Wadleigh // Advances in Agronomy. – 1949. – V. 1. – P. 1–38.

524. Ito, M. Spatial patterns of precipitation quantity and chemistry and air temperature in the Adirondack region of New York / M. Ito, M. Mitchell, C.T. Driscoll // Atmos. environ. − 2002. − V. 36. − P. 1051–1062.

525. Jacobson, J.S. Influence of sulfate, nitrate and chloride in simulated acidic rain on radish plants / J.S. Jacobson, J.J. Troiano, L.I. Helles, J. Osmeloski // J. Envir. Quality. − 1986. − V. 15. – № 3. − P. 301–304.

526. Jiang, F. Влияние на рост яблонь долговременной экспозиции их при пониженных уровнях SO_2 / F. Jiang // Chin. J. Environ. Sci. — 1989. — V. 10. – № 5. — P. 35–38 (кит.)

527. Kampf, H. From domestication to dedomestication: management of vegetation using large herbivores / H. Kampf // Managing high-nature-conservation-value farmland: policies, processes and practices / Proc. of the European Forum on

Nature Conservation and Pastoralism ; ed. by M.W. Pienkowski & D.G.L. Jones. – Islay, UK, 2000. – P. 15–38.

528. Kang, G.U. Comparison of the chemical composition of precipitation on the western and eastern coasts of Korea / G.U. Kang, JR J.L. Collett, D-Y. Shin [et al.] // Water, Air and Soil pollut. − 2004. − V. 151. − P. 11–34.

529. Khwaja, H.A. Chemical characterization of acid precipitation in Albany, New York / H.A. Khwaja, L. Husian // Atmos. Environ. − 1990. − V. 24A. − P. 1869–1882.

530. Klymenko, O.E. Nutrient concentrations in leaves of peach trees subjected to acid rain / O.E. Klymenko, M.I. Klymenko // Plant Nutrition: Food security and sustainability of agro-ecosystems through basic and applied research. – Dordrecht, Boston, London : Kluwer Academic Publishers, 2001. – P. 926–927.

531. Klymenko, O.E. Acid precipitation and peach tree growth / O.E. Klymenko, M.I. Klymenko // Proceeding of 2th Symposium on Plant Helth in Urban Horticulture, Berlin, Aug. 27–29, 2003 // Mitt. Inst. Seefisch. Bundesforschungsanst. Fisch, Hamburg. – 2003. – № 394. – P. 190–192.

532. Klymenko, O.E. Cultivation of sweet cherry (*Cerasus avium* (L.) Moench) seedlings with using of phosphate-mobilizing microorganisms / O. Klymenko, M. Klymenko, L. Kartyzhova, Z. Alechenkova // Agronomy Research (Special Issue III). – 2010. – № 8. – P. 633–636.

533. Klymenko, O. Ecologization of fruit crops grafted seedlings growing / O. Klymenko, M. Klymenko, I. Kameneva, N. Klymenko // Acta Hort. – 2014. – V. 1032. – P. 125–132.

534. Kong-Kun, L. Изменения содержания серы в коре и их значения для мониторинга загрязнения SO_4 в зимнее время / L. Kong-Kun, F. Jiang, F. De-lin // Acta Bot. Sinica. − 1992. − V. 34. – № 8. − P. 662–629 (кит.).

535. Lacaux, J.P. Precipitation chemistry in the Mayombe forest of equatorial Africa / J.P. Lacaux, R.G. Delmas, O.B. Cros, M.O. Andreae // Journal of Geophysics Researches. − 1992. − V. 97. − P. 61–95.

536. Lee, B.K. Chemical composition of precipitation and wet deposition of major ions on the Korean peninsula / B.K. Lee, S.H. Hong, D.S. Lee // Atmos. Environ. − 2000. − V. 34. − P. 563–575.

537. Leece, D.R. Diagnosis of nutritional disorders of fruit trees by leaf and soil analyses and biochemical indices / D.R. Leece // J. Australian Inst. Agric. Sci. − 1976. − V. 42. − P. 3–19.

538. Levitt, J. Responses of plants to Environmental stresses / J. Levitt. – New York : Academic press, 1972. − V. 1. − 697 p.

539. Liebig, J. von. Organic chemistry in its applications to agriculture and physiology / J. von. Liebig. – London : Taylor & Walton, 1840. – 387 pp.

540. Managing high-nature-conservation-value farmland: policies, processes and practices // Proc. of the 6th European Forum on Nature Conservation and Pastoralism (Luhacovice, Bile Karpaty, Cztch Republic, 6–10 June 1998) / ed. by M.W. Pienkowski & D.G.L. Jones. – Islay, UK, 1999. – 176 c.

541. Mashali, A.M. Integrated soil management for sustainable use of salt-affected soil and network activities // Proceed. Int. Workshop on Integrated Soil Management for Sustainable Use of Salt-affected Soils (Manila, the Philippines, 8–10 November, 1995). – Rome : Food and agriculture organization of the United Nations, 1999. – P. 55–75.

542. Maznova, J. Trends in atmospheric deposition of sulphur, nitrogen and hydrogen ions in the Czech Republic / J. Maznova, I. Hunova // Acid rain 2011 : abstracts of 8th Intern. conf. of acid deposition, Beijing, China, 16–18 June 2011. − Beijing : LARS. − 2011. − P. 115.

543. Migliavacca, D. Atmospheric precipitation and chemical composition of an urban site, Guaiba hydrographic basin / D. Migliavacca, E.C. Teixeira, F. Wiegand [et al.] // Brazil. Atmos. Environ. − 2005. − V. 39. − P. 1829–1844.

544. Mittler, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance / R. Mittler // Trends in Plant Science. – 2002. – V. 7(9). – P. 405–410.

545. Mouli, P.C. Rainwater chemistry at a regional representative urban site: influence of terrestrial sources on ionic composition / P.C. Mouli, S.V. Mohan, S.J. Reddy // Atmos. Environ. − 2005. − V. 39. − P. 999–1008.

546. Nilles, M.A. Trends in wet atmospheric deposition of sulfate and nitrogen in the United States / M.A. Nilles, A.S. Ludtke // Acid rain 2011 : abstracts of 8th Intern. conf. of acid deposition, Beijing, China, 16–18 June 2011. − Beijing : LARS. − 2011. − P. 86 – 87.

547. Noudi, I. Acid precipitation in Japan and its impact on plants / I. Noudi // JARQ. − 1992. − V. 26. – № 3. − P. 171–177.

548. Ormrod, D.P. Pollution in horticulture / D.P. Ormrod. — Amsterdam, New York : Elsevier Scientific Pub., 1978. − 260 p.

549. Ormrod, D.P. Gaseous air pollution and horticultural crop production / D.P. Ormrod // Hortic. Reviews. − 1986. − V. 8. − P. 1–42.

550. Oster, J.D. Gypsum usage in irrigated agriculture / J.D. Oster // Fertilizer Res. – 1982. – V. 3. – № 1. – P. 73–89.

551. Paracchini, M. L. High Nature Value Farmland in Europe – An Estimate of the Distribution Patterns on the Basis of Land Cover and Biodiversity Data / M.L. Paracchini, J.-E. Petersen, Y. Hoogeveen, C. Bamps, I. Burfield, C. Swaay. – Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 2008. – 87 p.

552. Pauly, T. La pollution atmospherique et lesvegetaux, particulierement lesarbres des villes / T. Pauly, C. Lohou // Technic science metheorology. − 1992. − V. 5. − P. 267–270.

553. Pell, E.J. Secondary metabolites and air pollutants / E.J. Pell. − NY : Elsevier Applied Sci., 1988. − P. 22–237.

554. Peng, F. Развитие исследований механизма повреждения деревьев и лесных экосистем кислотными дождями / F. Peng, Z. Zhang // J. Nanjung Forest Univ. − 1992. − V. 16. – № 4. − P. 74–79 (кит.).

555. Percy, K.E. Air pollution and forest health: toward new monitoring concepts / K.E. Percy, M. Ferretti // Envir. Pollut. − 2004. − V. 130. – № 1. − P. 113–126.

556. Poniedzialek, W. Effect of gases and dust emitted by the Nova Huta steel works on apple, pear and plum growth and yield / W. Poniedzialek, K. Nosal // Ogrodnictwo. − 1985. − V. 195. − P. 3–22.

557. Proctor, J.T.A. Effect of simulated sulfuric acid rain on apple tree foliage, nutrient content, yield and fruit quality / J.T.A. Proctor // Envir. Exper. Botany. − 1983. − V. 23. − P. 167–174.

558. Reuter, F. Suggestion on the cultivation of horticultural and fruit crops in industrial areas / F. Reuter, H.G. Dassler // Archiv fur Gartenbau. − 1988. − V. 36. – № 1. − P. 39–49.

559. Rinallo, C. Comparative eeffect the salt components of acid rain, acidified water and simulated acid rain on *Malus communist* L. and *Pyres ccommunist* L. / C. Rinallo // Advances in horticultural Science. − 1989. − V. 3. – № 3. − P. 126–132.

560. Rinallo, C. Effect of simulated rain acidity on the chemical composition of apple fruit / C. Rinallo, G. Mode, A. Edna, R. Celanese // J. Hortic. Science. − 1993. − V. 68. – № 2. − P. 275–280.

561. Roberts, BAR. Effect of atmospheric deposition on sulfur and nitrogen content of four urban tree species // BAR. Roberts, LESS. Douching, A.M. Townsend // J. Arboriculture. − 1986. − V. 12. – № 9. − P. 209–212.

562. Schutzendiibel, A. Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization / A. Schutzendiibel, A. Polle // J. Exp. Bot. – 2002. – V. 53. – P. 1351–1365.

563. Semerdjieva, L. Chemical composition of precipitation on forest ecosystems / L. Semerdjieva // Bulgarian J. of Meteorology and Hydrology. − 1993. − V. 4. – № 1. − P. 51–58.

564. Serengil, Y. Acid rains in Belgrad forest, Istanbul / Y. Serengil // Long term air pollution effect on forest Ecosistems : abstracts 20th Intern. Meeting for Specialists in Air Pollution Effects on forest Ecosistems, Zvolen, Slovak Republic, 30 Aug.–1 Sept. 2002. −Zvolen : FRI, 2002. − P. 48.

565. Sicard, P. Trends in chemical composition of wet-only precipitation at rural French monitoring stations over the 1990 – 2003 period / P. Sicard, P. Coddeville,

S. Sauvage, J.–C. Galloo // Acid rain – deposition to recovery ; ed. by P. Brimblecomb et al. − The Netherlands : Springer, 2007. − P. 49–58.

566. Shelford, V.E. Principles and problems of ecology as illustrated by animals. – J. Ecol. – 1915. – V. 3. – № 1. – P. 1–23.

567. Singh, J. Relative susceptibility of two species of tropical fruit to thermal power plant emission / J. Singh, M. Agrawal, G. Narayan // Trop. Ecol. − 1994. − V. 35. – № 1. − P. 83–96.

568. Singh, S.P. Rainwater composition at a regional representative site of a semi-arid region of India / S.P. Singh, G.S. Satsangi, A. Lakhani [et al.] // Water, Air and Soil Pollut. − 2001. − V. 127. − P. 93–108.

569. Singh, R. The use of spent wash for the reclamation of sodic soils / R. Singh, N.T. Singh, J. Arora // Journal of the Indian Society of Soil Science. – 1980. – V. 28. – № 1. – P. 38–41.

570. Singh, S.B. Effect of exchangeable sodium on the growth and mineral composition of jujube and guava / S.B. Singh, R. Chhabra, I.P. Abrol // Ind. J. Agric. Sci. – 1983. – V. 53. – № 6. – P. 446–450.

571. Smith, S.E. Mycorrhizal Symbiosis / S.E. Smith, D.J. Read. – San Diego CA, USA : Academic press Inc., 1997. – 605 p.

572. Stegmann, H.B. Oxidative stress of crops monitored by EPR / H.B. Stegmann, P. Schuber, S. Westphal, E. Wagner // Z. Naturforsch. − 1993. − V. 48. – № 9–10. − P. 766–772.

573. Streets, D.G. Sulfur dioxide emission in Asia in the period 1985 – 1997 // D.G. Streets, N.Y. Tsai, H. Akimot, K. Oka // Atmos. Envir. − 2000. − V. 34. − P. 4413–4423.

574. Stroehlein, J.L. pH conlrol on alkaline soils / J.L. Stroehlein // Solution. – 1980. – V. 24. – № 3. – P. 81–91.

575. Tokuchi, N. Acid rain and circulation of nutritious substances in forest ecosystems / N. Tokuchi, G. Iwatsubo // Shinrin ritchi. − 1992. − V. 34. – № 1. − P. 14–19.

576. Topcu, S. Chemical composition of rainwater at EMEP station in Ankara / S. Topcu, S. Incecik, A. Atimtay // Turkey. atmos. res. − 2002. − V. 65. − P. 77–92.

577. Vose, P.B. Development in nonlegume N2 – Fixing systems / P.B. Vose // Canadian J. of Microbiology. – 1983. – V. 29. – № 8. – P. 837–850.

578. Walkes, J.T. Influence of simulated acidic rain on growth and elemental concentration in leaf tissue of woody ornamentals / J.T. Walkes // Res. Rept. : GA Agr. Exp. Stat. Cell. Agr. Univ. (GA), 1989. − № 572. − P. 1–11.

579. Wang, L. The causes of soil alkalinization in the Songnen Plain of Northeast China / L. Wang, K. Seki, T. Miyazaki, Y. Ishihama // Paddy and Water Environ. – 2009. – V. 7. – № 3. – P. 259–270.

580. Wang, S. Emission trends of air pollutants leading to acid rain and their impacts in China / S. Wang, J. Xing, K. He, J. Hao // Acid rain 2011 : abstracts of 8th Intern. conf. of acid deposition, Beijing, China, 16–18 June 2011. − Beijing : LARS, 2011. − P. 16 – 17.

581. Wilson, R.B. Policy implications from crop lose assessment research – United Kingdom perspective / R.B. Wilson, A.C. Sinfield, N.C. Raleigh // Assessment of Crop Loss From Air Pollutants ; Ed. W.W Heck, O.C. Taylor , D.T. Tingey. − London, New York : Elsevier, 1988. − P. 515 – 519.

582. Wood, T. Increases in foliar leaching caused by acidification of an artificial mist / T. Wood, F.N. Bormann // Ambio. − 1975. − № 4. − P. 169–171.

583. Yang, F. Chemical characters of atmospheric precipitation in Beijing in years of 2001 – 2003 / F. Yang, Y. Ma, X. Yu [et al.] // China J. Environ. Sci. − 2004. − V. 38. − P. 37–53.

584. Yu, F. Воздействие окуривания оксидами серы и азота и их смесью на содержание аскорбиновой кислоты в китайской капусте / F. Yu, W. Qin // Chin. J. Environ. Sci. − 1993. − V. 14. – № 1. − P. 64–66 (кит.).

585. Zhang, M. Chemical composition of wet precipitation and anthropogenic influence at a developing urban site in Southeastern China / M. Zhang, S. Wang, F. Wu [et al.] // Atmos. Res. − 2007. − V. 84. − P. 311–322.

586. Vez, A. Quelle teneur en humus pour nos sols / A. Vez // Bol. Fac. Cienc. Agr. Para. − 1990. − № 19. − P. 69–77.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Таблица А. 1 – Солевой состав орошаемых почв под садовыми агроценозами в степном Крыму (1997–2013 гг.)

Глубина, см	Сумма солей %	CO_3^{2-}		HCO_3^-		Cl^-		SO_4^{2-}		Ca^{2+}		Mg^{2+}		Na^+	
		%	мэкв	%	мэкв	%	мэкв	%	мэкв	%	мэкв	%	мэкв	%	мэкв
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Черноземы южные (агрочерноземы сегрегационные) на лёссовидных отложениях (n = 25)															
0-50	0,052	0	0	0,006	0,39±0,02 0,25-0,50	0,002	0,06±0,01 0,02-0,11	0,005	0,24±0,05 0,00-0,75	0,018	0,35±0,02 0,23-0,48	0,015	0,18±0,01 0,13-0,28	0,006	0,15±0,03 0,02-0,47
50-100	0,062	0,001	0,03±0,01 43%**	0,009	0,54±0,04 0,30-0,88	0,001	0,05±0,01 0,02-0,14	0,005	0,24±0,06 0,00-0,95	0,021	0,43±0,03 0,25-0,78	0,015	0,18±0,01 0,10-0,28	0,010	0,24±0,05 0,01-0,85
100-150	0,071	0,001	0,03±0,01 52%	0,010	0,60±0,07 0,40-1,33	0,001	0,05±0,01 0,02-0,14	0,006	0,30±0,06 0,00-0,90	0,022	0,45±0,05 0,25-0,98	0,018	0,21±0,02 0,13-0,35	0,013	0,30±0,07 0,02-1,08
Те же плантажированные (турбированные) (n = 91)															
0-50	0,062	0	0	0,007	0,44±0,01 0,20-0,82	0,005	0,17±0,03* 0,02-0,54	0,004	0,22±0,04 0,00-0,36	0,023	0,46±0,01 0,20-0,93	0,015	0,18±0,02 0,08-0,14	0,008	0,19±0,05 0,01-0,41
50-100	0,068	0,001	0,04±0,01 37%	0,010	0,58±0,02 0,33-1,08	0,003	0,11±0,02* 0,02-0,28	0,004	0,22±0,05 0-0,44	0,022	0,44±0,02 0,28-1,12	0,016	0,19±0,02 0,08-0,17	0,012	0,28±0,06 0,01-0,50
100-150	0,073	0,001	0,04±0,01 51%	0,010	0,60±0,02 0,39-1,70	0,003	0,11±0,01* 0,02-0,26	0,005	0,25±0,14 0,00-1,14	0,021	0,43±0,02 0,22-1,10	0,019	0,23±0,06 0,10-0,46	0,014	0,32±0,06 0,01-1,03
Черноземы южные мицелярно-карбонатные (агрочерноземы миграционно-сегрегационные) на лёссовидных отложениях (n = 30)															
0-50	0,063	0	0	0,006	0,38±0,01 0,33-0,45	0,003	0,09±0,02 0,05-0,14	0,007	0,35±0,01 0,02-0,85	0,021	0,43±0,02 0,38-0,50	0,016	0,19±0,02 0,13-0,28	0,009	0,2±0,08 0,03-0,62
50-100	0,072	0,001	0,04±0,01 53%	0,008	0,52±0,04 0,30-1,00	0,004	0,13±0,01 0,05-0,59	0,006	0,28±0,06 0,00-0,90	0,023	0,46±0,05 0,28-1,05	0,019	0,23±0,03 0,08-0,55	0,011	0,25±0,04 0,02-0,63
100-150	0,090	0,001	0,04±0,01 47%	0,010	0,51±0,03 0,38-0,73	0,005	0,16±0,01 0,05-1,03	0,006	0,28±0,05 0,00-0,55	0,021	0,42±0,05 0,28-0,95	0,032	0,39±0,11 0,15-1,48	0,015	0,34±0,09 0,02-1,13

Продолжение таблицы А.1

Глубина, см	Сумма солей %	CO_3^{2-}		HCO_3^-		Cl^-		SO_4^{2-}		Ca^{2+}		Mg^{2+}		Na^+	
		%	мэкв	%	мэкв	%	мэкв	%	мэкв		%	мэкв	%	мэкв	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Черноземы южные слабосолонцеватые (агрочерноземы сегрегационные слабосолонцеватые) на лёссовидных отложениях (n = 39)															
0-50	0,045	0	0	0,004	0,28±0,02 0,13-0,48	0,001	0,04±0,01 0,02-0,16	0,006	0,31±0,01 0,00-0,10	0,014	0,27±0,01 0,13-0,43	0,012	0,14±0,01 0,05-0,2	0,008	0,19±0,04 0,01-0,69
50-100	0,058	0,001	0,03±0,01 36%**	0,008	0,50±0,01 0,23-0,65	0,001	0,04±0,01 0,00-0,16	0,004	0,21±0,01 0,00-0,75	0,018	0,35±0,01 0,23-0,60	0,016	0,19±0,01 0,08-0,48	0,010	0,22±0,04 0,01-0,84
100-150	0,078	0,001	0,04±0,01 46%	0,009	0,57±0,02 0,45-1,00	0,001	0,04±0,01 0,00-0,14	0,009	0,43±0,01 0,00-2,70	0,020	0,39±0,03 0,20-1,10	0,019	0,23±0,02 0,13-0,70	0,019	0,44±0,08 0,02-1,79
Лугово-черноземные карбонатные плантажированные (агрочерноземы сегрегационные карбонатные квазиглеватые турбированные) на древнем глинистом аллювии (n = 44)															
0-50	0,070	0,001	0,03±0,01 7%	0,009	0,56±0,01 0,45-0,75	0,003	0,10±0,01 0,04-0,22	0,006	0,28±0,04 0,00-1,05	0,025	0,50±0,02 0,30-0,73	0,015	0,18±0,01 0,05-0,48	0,011	0,26±0,04 0,01-0,85
50-100	0,075	0,001	0,04±0,01 7%	0,010	0,58±0,02 0,45-0,88	0,003	0,11±0,01 0,02-0,25	0,007	0,32±0,05 0-1,35	0,024	0,48±0,02 0,28-0,78	0,014	0,17±0,01 0,01-0,35	0,016	0,36±0,06 0,02-1,49
100-150	0,078	0,001	0,04±0,01 9%	0,009	0,56±0,02 0,38-0,83	0,003	0,11±0,01 0,02-0,25	0,008	0,39±0,08 0,00-1,74	0,023	0,46±0,02 0,18-1,00	0,018	0,22±0,01 0,05-0,45	0,016	0,37±0,08 0,01-1,63
Лугово-черноземные карбонатные (агрочерноземы карбонатные квазиглееватые) глубокосолончаковатые на лёссовидных отложениях (n = 12)															
0-50	0,078	0	0	0,008	0,50±0,02 0,35-0,58	0,002	0,06±0,01 0,02-0,14	0,010	0,49±0,07 0,15-1,0	0,022	0,45±0,02 0,28-0,55	0,020	0,24±0,02 0,15-0,30	0,016	0,37±0,06 0,07-0,91
50-100	0,078	0	0	0,009	0,54±0,01 0,50-0,88	0,002	0,07±0,01 0,02-0,18	0,009	0,45±0,06 0,05-0,70	0,022	0,44±0,02 0,35-0,55	0,020	0,24±0,01 0,18-0,30	0,016	0,37±0,04 0,12-0,57
100-150	0,091	0	0	0,011	0,64±0,04 0,55-1,03	0,002	0,07±0,01 0,02-0,14	0,011	0,52±0,04 0,15-1,05	0,023	0,46±0,04 0,35-0,85	0,022	0,27±0,02 0,18-0,45	0,022	0,50±0,10 0,13-1,27

Продолжение таблицы А.1

Глубина, см	Сумма солей %	CO_3^{2-}		HCO_3^-		Cl^-		SO_4^{2-}		Ca^{2+}		Mg^{2+}		Na^+	
		%	мэкв	%	мэкв	%	мэкв	%	мэкв		%	мэкв	%	мэкв	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Те же плантажированные (турбированные) (n = 30)															
0-50	0,068	0	0	0,008	0,51±0,02 0,42-0,78	0,001	0,05±0,01 0,02-0,10	0,008	0,36±0,07 0,00-1,30	0,024	0,47±0,02 0,30-0,70	0,012	0,14±0,01* 0,08-0,23	0,015	0,34±0,07 0,02-1,36
50-100	0,066	0,001	0,04±0,01 12%	0,008	0,52±0,02 0,35-1,00	0,002	0,06±0,01 0,02-0,36	0,007	0,35±0,07 0,00-1,15	0,022	0,45±0,02 0,28-0,60	0,012	0,15±0,01* 0,05-0,33	0,014	0,33±0,06 0,00-1,17
100-150	0,074	0,001	0,04±0,01 25%	0,008	0,51±0,01* 0,40-0,72	0,002	0,06±0,02 0,02-0,42	0,009	0,43±0,07 0,00-1,30	0,022	0,43±0,02 0,22-0,62	0,012	0,15±0,01* 0,05-0,25	0,020	0,46±0,08 0,01-1,28
Черноземно-луговые слабосолонцеватые (агрогумусово-квазиглеевые слабосолонцеватые) на лёссовидных отложениях (n = 9)															
0-50	0,044	0	0	0,007	0,43±0,04 0,20-0,55	0,002	0,07±0,03 0,06-0,08	0,002	0,10±0,05 0,00-0,50	0,020	0,40±0,04 0,22-0,61	0,010	0,12±0,01 0,08-0,18	0,003	0,07±0,02 0,01-0,24
50-100	0,0482	0	0	0,009	0,57±0,01 0,50-0,62	0,002	0,07±0,03 0,06-0,08	0,0002	0,01±0,01 0,00-0,10	0,018	0,37±0,02 0,28-0,50	0,015	0,18±0,02 0,10-0,32	0,004	0,09±0,02 0,01-0,19
100-150	0,086	0	0	0,009	0,54±0,04 0,35-0,70	0,012	0,41±0,16 0,04-1,42	0,007	0,34±0,10 0,00-0,95	0,018	0,35±0,05 0,20-0,58	0,030	0,36±0,09 0,18-1,02	0,010	0,23±0,07 0,02-0,60
Те же плантажированные (турбированные) (n = 6)															
0-50	0,060	0	0	0,009	0,54±0,04 0,38-0,68	0,002	0,06±0,01 0,04-0,08	0,005	0,26±0,09 0,05-0,50	0,020	0,40±0,07 0,12-0,58	0,010	0,12±0,03 0,05-0,23	0,014	0,32±0,13 0,03-0,76
50-100	0,0733	0	0	0,012	0,73±0,04* 0,62-0,90	0,002	0,06±0,02 0,02-0,12	0,006	0,28±0,10* 0,05-0,55	0,017	0,34±0,05 0,13-0,48	0,010	0,12±0,03 0,05-0,18	0,026	0,61±0,17* 0,25-1,31
100-150	0,083	0,001	0,04±0,01 34%	0,013	0,79±0,07* 0,58-0,98	0,002	0,07±0,01 0,04-0,10	0,006	0,30±0,09 0,05-0,55	0,018	0,35±0,10 0,10-0,83	0,012	0,14±0,03* 0,03-0,28	0,031	0,71±0,18* 0,05-1,45
Лугово-каштановые (агрокаштановые квазиглееватые) глубокосолончаковатые на лёссовидных отложениях (n = 5)															
0-50	0,093	0	0	0,008	0,48±0,02 0,42-0,52	0,003	0,09±0,02 0,04-0,11	0,009	0,42±0,03 0,35-0,50	0,028	0,56±0,03 0,48-0,62	0,030	0,36±0,04 0,25-0,45	0,015	0,07±0,05 0,01-0,21
50-100	0,103	0	0	0,010	0,64±0,01 0,62-0,65	0,004	0,14±0,01 0,13-0,15	0,008	0,36±0,09 0,16-0,60	0,031	0,62±0,06 0,48-0,75	0,036	0,43±0,07 0,28-0,60	0,014	0,06±0,03 0,10-0,15
100-150	0,143	0	0	0,011	0,66±0,04 0,60-0,78	0,003	0,12±0,03 0,06-0,17	0,029	1,39±0,32 0,85-2,30	0,032	0,65±0,14 0,28-0,98	0,048	0,58±0,08 0,40-0,80	0,020	0,81±0,39 0,24-1,90

Продолжение таблицы А.1

Глубина, см	Сумма солей %	CO_3^{2-}		HCO_3^-		Cl^-		SO_4^{2-}		Ca^{2+}		Mg^{2+}		Na^+	
		%	мэкв	%	мэкв	%	мэкв	%	мэкв		%	мэкв	%	мэкв	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Те же остаточносолонцеватые плантажированные (турбированные) на лессовидных глинах (n = 18)															
0-50	0,062	0	0	0,004	0,25±0,02 0,12-0,45	0,006	0,20±0,04* 0,05-0,55	0,009	0,44±0,06 0,07-0,95	0,014	0,29±0,03* 0,10-0,55	0,013	0,16±0,02* 0,03-0,32	0,016	0,37±0,07* 0,00-1,10
50-100	0,078	0	0	0,008	0,46±0,02 0,33-0,63	0,003	0,10±0,01 0,05-0,20	0,011	0,52±0,10 0,00-1,25	0,014	0,28±0,02* 0,12-0,52	0,015	0,18±0,02* 0,12-0,40	0,027	0,62±0,09* 0,13-1,38
100-150	0,098	0	0	0,009	0,56±0,03 0,42-0,82	0,003	0,09±0,01 0,05-0,15	0,016	0,75±0,11 0,20-1,80	0,012	0,25±0,02* 0,08-0,38	0,016	0,19±0,03* 0,05-0,52	0,042	0,96±0,12 0,15-1,82
Каштаново-луговые слабосолонцеватые (агрогумусово-квазиглеевые слабосолонцеватые) глубокосолончаковатая на лёссовидных отложениях (n = 24)															
0-50	0,090	0	0	0,007	0,40±0,02 0,18-0,60	0,007	0,23±0,02 0,07-0,34	0,010	0,48±0,04 0,25-0,75	0,020	0,41±0,02 0,25-0,63	0,036	0,43±0,04 0,12-0,72	0,010	0,24±0,04 0,01-0,73
50-100	0,096	0	0	0,009	0,53±0,03 0,31-0,83	0,007	0,23±0,01 0,09-0,37	0,009	0,42±0,05 0-0,95	0,016	0,32±0,02 0,19-0,45	0,036	0,43±0,03 0,22-0,68	0,019	0,44±0,08 0,02-1,23
100-150	0,196	0	0	0,008	0,50±0,04 0,12-0,70	0,010	0,36±0,06 0,11-1,26	0,034	1,64±0,28 0,50-5,00	0,026	0,51±0,08 0,15-1,42	0,062	0,74±0,06 0,37-1,32	0,056	1,28±0,29 0,10-4,50
* Разница с соответствующей неплантажированной почвой существенна, $p \leq 0,05$; ** процент встречаемости иона CO_3^{2-}; над чертой – среднее арифметическое содержание ионов, под чертой – max – min.															

Таблица А. 2 – Максимальное содержание ионов водной вытяжки и гидрокарбонатов натрия и магния (смоль(экв)/кг) в одном из слоев темно-каштановой (агрокаштановой сегрегационной) слабосолонцеватой почвы под насаждениями *M. domestica*, 1989 г.

Почва	№ разреза	Окружность штамба	Слой почвы, см	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Ca^{2+}	$NaHCO_3$+ $Mg(HCO_3)_2$
‘Мелба’ на подвое М. 5, возраст 16 лет							
Почва 1	13	55	0−60	0	0,49	0,32	0,17
			60−100	0	0,66	0,42	0,24
			100−150	0	0,71	0,44	0,27
Почва 2	16	51	0−60	0	0,39	0,24	0,15
			60−100	0	0,68	0,34	0,34
			100−150	0,03	0,65	0,32	0,33
‘Ренет Симиренко’ на подвое ‘Сары Синап’, возраст 8 лет							
Почва 1	342	39	40−60	0	0,48	0,45	0,03
			60−100	0	0,50	0,32	0,18
			100−120	0	0,58	0,32	0,26
Почва 2	347	35	40−60	0	0,58	0,32	0,26
			60−100	0	0,65	0,32	0,33
			100−120	0,03	0,71	0,42	0,29

Таблица А. 3 – Солевой состав поливной воды орошаемого участка сада персика, бывший к-з «Родина» Джанкойского р-на, 1990 г.

Объект	Минерализация, г/л	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+
		смоль(экв)/дм^3						
Темно-каштановая (агрокаштановая сегрегационная) слабосолонцеватая почва	0,643	0,80	6,20	2,00	0,00	5,60	0,90	2,70

Приложение Б

Рисунок Б. 1. Симптомы недостаточности калия и избытка натрия в листьях *M. domestica* ‘Ренет Симиренко’ на подвое ‘Сары Синап’ при ощелачивании темно-каштановой (агрокаштановой сегрегационной) почвы

Приложение В

Таблица В. 1 – Содержание подвижных форм элементов питания (мг/кг) в эдафотопе садового агроценоза *M. domestica,* (1993–1997 гг.)

Вариант	Слой, см	$N\text{-}NO_3$			P_2O_5			K_2O		
		апрель	июнь	август	апрель	июнь	август	апрель	июнь	август
Контроль (черный пар), n = 5	0–20	5,2 ± 1,3	6,4 ± 2,0	8,9 ± 3,0	17,4 ± 3,3	21,6 ± 4,1	19,6 ± 2,4	347 ± 12	354 ± 26	382 ± 22
	20–40	5,0 ± 1,3	3,7 ± 1,8	7,8 ± 2,3	9,7 ± 2,5	12,4 ± 2,4	10,6 ± 2,2	259 ± 10	286 ± 19	313 ± 24
	40–60	4,3 ± 1,4	2,7 ± 1,4	4,3 ± 1,9	4,5 ± 1,4	5,4 ± 1,3	6,6 ± 1,0	214 ± 8	224 ± 14	223 ± 16
Зимующий горох, n = 3	0–20	7,3 ± 1,5	7,5 ± 0,2	12,0 ± 7,9	16,2 ± 4,3	20,0 ± 6,9	25,3 ± 2,3	363 ± 16	392 ± 25	433 ± 66
	20–40	6,1 ± 1,5	6,5 ± 0,2	9,1 ± 5,2	7,9 ± 4,1	12,7 ± 5,5	12,7 ± 1,8	280 ± 20	301 ± 58	317 ± 31
	40–60	5,7 ± 1,6	3,9 ± 2,0	4,5 ± 2,3	2,5 ± 1,3	6,0 ± 3,6	6,0 ± 1,0	239 ± 15	228 ± 46	214 ± 22
Озимый рапс, n = 4	0–20	6,6 ± 0,9	7,3 ± 3,0	10,6 ± 3,9	14,3 ± 2,8	21,8 ± 3,0	19,5 ± 2,5	360 ± 7	396 ± 21	381 ± 29
	20–40	6,1 ± 1,7	6,0 ± 2,6	8,1 ± 2,8	7,5 ± 2,4	12,8 ± 2,8	10,3 ± 1,8	277 ± 16	353 ± 31	284 ± 17
	40–60	5,3 ± 2,2	5,2 ± 3,3	5,7 ± 2,2	5,6 ± 1,8	7,3 ± 2,4	6,5 ± 1,0	216 ± 18	259 ± 13	224 ± 17
Смесь вики с пшеницей, n = 4	0–20	5,7 ± 1,2	5,2 ± 0,2	10,9 ± 4,8	13,1 ± 4,0	19,8 ± 4,0	21,8 ± 2,1	347 ± 21	388 ± 13	362 ± 35
	20–40	4,2 ± 1,0	5,3 ± 1,8	7,4 ± 2,1	7,0 ± 2,1	11,3 ± 2,8	11,0 ± 1,7	285 ± 19	319 ± 20	277 ± 30
	40–60	3,6 ± 1,2	2,9 ± 1,7	4,5 ± 1,8	4,3 ± 1,4	5,8 ± 2,0	6,3 ± 1,6	223 ± 15	241 ± 18	218 ± 28
Черный пар по смеси вики с пшеницей, n = 4	0–20	6,3 ± 1,5	9,1 ± 1,6	12,3 ± 5,7	14,0 ± 2,6	18,5 ± 4,6	19,8 ± 3,9	331 ± 9	373 ± 15	382 ± 20
	20–40	4,7 ± 1,4	6,9 ± 1,2	8,5 ± 3,3	6,2 ± 2,0	12,8 ± 4,1	12,5 ± 2,5	232 ± 19	288 ± 25	296 ± 21
	40–60	3,7 ± 1,2	4,0 ± 1,5	5,6 ± 2,5	2,9 ± 1,3	5,0 ± 2,7	6,8 ± 2,1	213 ± 18	209 ± 25	240 ± 24
Озимый ячмень по черному пару, n = 4	0–20	5,5 ± 1,0	6,8 ± 0,2	11,7 ± 2,9	15,6 ± 1,9	17,3 ± 0,8	19,5 ± 2,5	373 ± 36	358 ± 33	367 ± 21
	20–40	4,3 ± 0,7	5,3 ± 0,8	8,6 ± 1,2	5,1 ± 2,1	9,3 ± 1,3	11,0 ± 1,6	261 ± 11	271 ± 28	281 ± 22
	40–60	3,0 ± 1,0	3,5 ± 1,2	5,1 ± 1,1	3,1 ± 1,3	4,0 ± 1,5	5,0 ± 1,5	200 ± 16	201 ± 26	202 ± 24

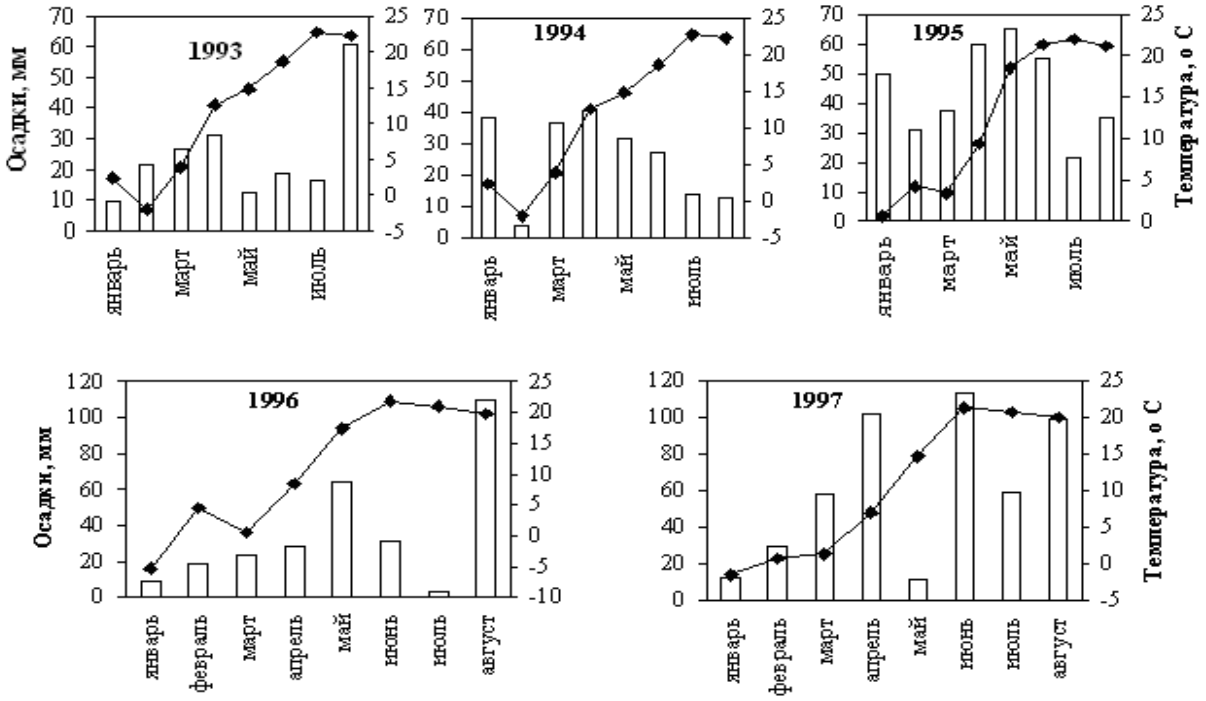

Рисунок В. 2. Осадки (столбики) и среднемесячная температура воздуха (кривые) в годы исследований, СО НБС – ННЦ (1993–1997 гг.)

Таблица В. 3 – Влияние сидератов на структурное состояние чернозема южного (агрочернозема сегрегационного) в агроценозе *M. domestica*, 1999 г. (n = 6]

Вариант	Слой почвы, см	Размер агрегатов (мм) и их содержание, % от массы абсолютно сухой почвы								
		> 10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25
Контроль (черный пар)	0–20	59,8	5,9	4,3	6,0	4,1	7,8	4,6	4,1	2,5
					1,1	1,9	5,6	15,9	23,5	52,4
	20–40	69,5	6,8	4,8	6,1	3,2	3,7	2,1	1,3	2,7
					2,2	5,5	11,0	20,3	16,7	40,9
	40–60	51,6	10,4	7,5	11,0	6,0	6,7	2,9	2,0	2,0
					4,6	12,4	10,4	19,0	32,3	37,5
Сидераты	0–20	48,1	5,5	4,3	7,2	6,9*	14,1*	6,1	4,7	3,3
					1,2	2,5	7,4*	21,3**	21,4*	45,7*
	20–40	64,8	8,8	4,6	6,2	3,8	3,8	2,4	1,6	2,4
					3,9**	12,6**	13,7	19,2	16,5	29,1*
	40–60	39,9*	11,3	9,3	13,8	7,6*	9,3*	3,5	2,3	2,6
					3,0	11,8	12,7	19,4	36,7	33,3

Примечание – Числитель – данные сухого просеивания, знаменатель – данные мокрого просеивания; * разница с контролем существенна, $p \leq 0,10$; ** $p \leq 0,05$.

Приложение Г

Таблица Г. 1 – Влияние МП на всхожесть семян, состояние и выход саженцев в агроценозе плодового питомника *P. armeniaca* ‘Крымский Амур’ на черноземе южном (агрочерноземе сегрегационном)

Вариант	2010–2011 гг.		2011–2012 гг.		2012–2013 гг.	
	% от числа посеянных семян	% от контроля	% от числа посеянных семян	% от контроля	% от числа посеянных семян	% от контроля
всхожесть семян						
Контроль	46,9±5,8	100	54,2±5,2	100	75,0±3,6	100
Азотобактерин	44,6±5,3	95	50,6±2,8	93	69,8±2,9	93
Фосфоэнтерин	43,2±5,8	92	50,6±4,1	93	96,9±1,7*	129
КМП	45,0±5,5	96	60,0±5,0	126	85,0±6,0	113
заокулировано подвоев						
Контроль	40,0±3,6	100	41,2±7,8	100	65,5±3,6	100
Азотобактерин	38,9±4,7	97	48,8±2,5	118	64,3±2,9	98
Фосфоэнтерин	37,4±4,0	94	43,1±3,5	104	76,2±1,7	116
КМП	42,1±3,6	105	55,0±4,2	134	72,1±6,0	110
сохранность глазков (весенняя ревизия)						
Контроль	35,0±5,4	100	32,0±5,2	100	47,6±5,8	100
Азотобактерин	30,0±5,0	86	38,0±5,9	119	57,9±5,0	122
Фосфоэнтерин	32,8±5,0	94	33,8±2,4	106	72,1±2,5*	151
КМП	34,6±4,9	99	40,5±6,0	127	69,8±3,8*	147
общий выход саженцев						
Контроль	32,1±5,1	100	31,2±5,2	100	46,4±1,2	100
Азотобактерин	28,6±4,1	89	37,5±5,9	120	57,1±2,1	123
Фосфоэнтерин	30,3±3,7	94	33,8±2,4	108	62,6±5,2*	135
КМП	34,0±4,6	106	40,5±6,0	130	69,8±1,0*	149
стандартных саженцев (% от всех)						
Контроль	94,1±15,6	100	79,6±19,8	100	92,3±9,8	100
Азотобактерин	96,7±14,2	103	94,4±3,3	119	95,8±6,2	104
Фосфоэнтерин	95,0±13,8	101	86,0±9,8	108	92,4±10,3	100
КМП	95,8±12,4	102	93,8±16,8	118	93,1±10,5	101

* Разница с контролем существенна, $p \leq 0,05$.

Таблица Г. 2 – Влияние МП на всхожесть семян, состояние и выход саженцев в агроценозе плодового питомника *P. cerasifera* ‘Обильная’ на черноземе южном (агрочерноземе сегрегационном)

Вариант	2010–2011 гг.		2011–2012 гг.		2012–2013 гг.	
	% от числа посеянных семян	% от контроля	% от числа посеянных семян	% от контроля	% от числа посеянных семян	% от контроля
всхожесть семян						
Контроль	55,0±6,0	100	86,4±2,7	100	33,9±5,8	100
Азотобактерин	58,0±4,1	106	86,4±2,7	100	40,6±5,9	120
Фосфоэнтерин	55,9±2,6	102	70,5±2,3	82	58,9±5,3*	174
КМП	64,1±1,1	116	83,2±3,2	96	53,6±5,0*	158
заокулировано подвоев						
Контроль	46,3±7,6	100	74,1±4,0	100	27,7±3,1	100
Азотобактерин	52,2±0,6	128	75,9±3,2	102	31,7±5,9	114
Фосфоэнтерин	52,8±6,3	114	56,3±5,5	76	40,2±2,2	145
КМП	60,9±2,2	132	66,8±3,2	90	43,3±4,5	156
сохранность глазков (весенняя ревизия)						
Контроль	37,6±5,6	100	69,5±4,1	100	26,6±4,1	100
Азотобактерин	44,1±2,6	117	69,5±5,4	100	28,1±4,2	106
Фосфоэнтерин	37,6±5,9	100	52,3±6,8	75	39,1±1,6*	147
КМП	50,0±4,3	133	60,4±4,1	87	38,0±2,2*	143
общий выход саженцев						
Контроль	34,8±9,1	100	66,4±5,4	100	26,1±4,1	100
Азотобактерин	38,5±3,3	111	66,8±4,1	101	27,3±3,6	105
Фосфоэнтерин	34,8±4,1	100	52,3±6,8	79	39,1±1,6*	150
КМП	45,6±0	131	54,5±4,5	82	37,5±2,7*	144
стандартных саженцев (% от всех)						
Контроль	83,1±4,3	100	87,0±5,4	100	100,0±4,1	100
Азотобактерин	84,8±2,2	102	88,4±2,7	102	100,0±2,7	100
Фосфоэнтерин	87,5±5,0	105	72,2±1,4	83	93,2±8,9	93
КМП	83,3±2,6	100	89,2±1,4	103	92,9±1,9	93
* Разница с контролем существенна, $p \leq 0,05$.						

Приложение Д. Акты внедрения

Утверждаю:
Директор Никитского ботанического
сада - Национального научного центра
академик УААН

В.Н. Ежов
2009 г

Акт

полевого испытания фосфатмобилизующих бактерий (ФМБ) № 7.

На опытном участке отдела степного растениеводства в течение 2007-2009 годов было проведено изучение и испытание фосфатмобилизующих штаммов бактерий (ФМБ) №7, предоставленных Институтом микробиологии Национальной академии наук Республики Беларусь, в рамках договора о творческом сотрудничестве между Никитским ботаническим садом – Национальным научным центром и ГНУ «Институт микробиологии Национальной академии наук Республики Беларусь» от 31 января 2006 г.

Бактериями ФМБ № 7 инокулировали семена миндаля горького (*Amygdalus communis* L.) при выращивании привитых саженцев персика сорта Фаворита Морettини в 2007, 2008 и 2009 годах и подвоя вишни магалебской (*Cerasus Magaleb* (L.) Mill.) при выращивании привитых саженцев черешни сорта Крупноплодная в 2007 году. Площадь опытной делянки составила 100 м ^{2}, учетной – 50 м ^{2}. Размещение делянок рендомизированное, повторность опыта пятикратная. Технология выращивания саженцев общепринятая для условий АР Крым.

На основании проведения исследований установлено увеличение количества выращенных стандартных саженцев персика сорта Фаворита Морettини на 4024 штуки и черешни сорта Крупноплодная на 2849 штук с одного гектара.

Таким образом, можно рекомендовать создание на основе фосфотмобилизующих микроорганизмов ФМБ № 7 микробного препарата для инокуляции семян миндаля и сеянцев вишни магалебской при выращивании привитых саженцев персика и черешни.

Ст. научный сотрудник
отдела агроэкологии — Клименко О.Е.

Ст. научный сотрудник
отдела степного
растениеводства — Клименко Н.И.

Агроном отдела степного
растениеводства — Батурский А.П.

Утверждаю:
Директор Никитского ботанического сада – Национального научного центра

_____ Ю. В. Плугатарь
«16» 05 2014 г.

Утверждаю:
И. о. директора ГП «Укргипросад»

_____ В. К. Шальский
«16» 05 2014 г.

АКТ
внедрения в производство научно-технической разработки

Настоящим актом подтверждается, что методические рекомендации по применению микробиологических препаратов в плодовом питомнике, разработанные старшим научным сотрудником НБС-ННЦ, кандидатом с.-х. наук Клименко О.Е. в рамках задания "Разработать принципы и методы оценки почвенно-климатических ресурсов и районирования территории Крыма для плодовых и декоративных насаждений" (шифр задания 09.02/006, № ДР 010611006817 в 2006-2010 гг.) были применены специалистами ГП «Укргипросад» в 2011г. при разработке проекта плодового питомника в ООО «Сельскохозяйственное предприятие «Солнечная Таврида» г. Феодосия АР Крым на площади 1,35 га.

При создании проекта Клименко О.Е. консультировала специалистов института.

Применение биопрепаратов позволит повысить плодородие почвы и обеспечит охрану окружающей среды. Это также даст возможность увеличить выход саженцев плодовых пород с единицы площади, улучшить их качество и повысить рентабельность производства.

Ответственные за выполнение от ГП «Укргипросад»:

Главный инженер — В. М. Сафонова

Главный инженер проекта, к.с.-х.н. — А. Ф. Яхонтов

Ответственные за выполнение от НБС-ННЦ:

Зав. лабораторией агроэкологии, к.с.-х.н. — И. В. Костенко

С.н.с. лаборатории агроэкологии, к.с.-х.н. — О. Е. Клименко

Утверждаю:
Директор Никитского ботанического сада – Национального научного центра

_____ Ю. В. Плугатарь
«_3_» _07_ 2014 г.

Утверждаю:
И. о. директора ГП «Укргипросад»

_____ В. А. Шальский
«_3_» _07_ 2014 г.

АКТ
внедрения в производство научно-технической разработки

Этим актом подтверждается, что сотрудниками НБС-ННЦ Клименко О.Е. и Ивановым В.Ф. в 1996 г. в рамках проблемы 2, задания 05 «Разработать основы рационального использования почвенно-климатических условий в садоводстве» (1990 г.) разработаны и переданы в ГП «Укргипросад» методические рекомендации по химической мелиорации почв с высокой щелочностью перед закладкой сада и в плодоносящем саду.

Качественно новые результаты этой научной разработки были применены в 1996–2013 гг. при обследовании почв и создании проектов плодовых садов и питомников в хозяйствах Джанкойского, Нижнегорского, Красногвардейского, Кировского, Сакского и Черноморского районов АР Крым, а также в Херсонской и Запорожской областях Украины на общей площади 4287 га. Установлено, что из этой площади 2930 га были ограниченно пригодными под сады ввиду повышенного содержания щелочных солей. Для нейтрализации щелочности и улучшения условий роста плодовых растений рекомендовано внесение мелиорантов.

Применение рекомендаций позволит рационально размещать плодовые насаждения на ограниченно пригодных почвах и повышать их плодородие за счет снижения щелочности. Проведение мелиорации позволит оптимизировать условия выращивания плодовых растений и получать высокие и стабильные урожаи при увеличении рентабельности производства.

Ответственные за выполнение от ГП «Укргипросад»:
Главный инженер — В. М. Сафонова

Главный инженер проекта, к.с.-х.н. — А. Ф. Яхонтов

Ответственные за выполнение от НБС-ННЦ:
Зав. лабораторией агроэкологии, к.с.-х.н. — И. В. Костенко

С.н.с. лаборатории агроэкологии, к.с.-х.н. — О. Е. Клименко

Утверждаю:
Директор Никитского ботанического сада
- Национального научного центра

_____ Ю. В. Плугатарь

«20» 08 _____ 2014 г.

Утверждаю:
Физические лицо –
предприниматель

_____ Р.М. Могилева

«20» 08 _____ 2014 г.

АКТ

внедрения в производство научно-технической разработки

Настоящим актом подтверждается, что качественно новые результаты научной разработки старшего научного сотрудника НБС – ННЦ, кандидата с.-х. наук Клименко О.Е. «Использование сидератов в междурядиях плодового сада», которая разработана в рамках проблемы «Разработать агроэкологические основы рационального размещения, использования и мониторинга садовых фитоценозов» - № ДР 01971ЛЮ4320 в 1996-2000 гг., были использованы в при создании проекта № 31 от 2014 г. в ООО «Яросвит» Симферопольского района АР Крым яблоневого сада на площади 23,4 га.

Во время работы над проектом Клименко О.Е. консультировала Могилеву Р.М. по вопросам подбора трав и способов выращивания сидератов.

Применение сидерации в междурядиях сада позволит повысить плодородие почвы и обеспечить охрану окружающей среды. Это даст возможность получать высокие и стабильные урожаи и экологически безопасную плодовую продукцию при увеличении рентабельности производства.

Ответственный за выполнение от «ФПЛ Могилева Р.М.»

Главный инженер проекта _____ Р. М. Могилева

Ответственный за выполнение от НБС-ННЦ:

Зав. лабораторией агроэкологии, к.с.-х.н. _____ И. В. Костенко

С.н.с. лаборатории агроэкологии, к.с.-х.н. _____ О. Е. Клименко

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Крымский федеральный университет
им. В.И. Вернадского»
АКАДЕМИЯ БИОРЕСУРСОВ
И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ
(СТРУКТУРНОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ)

01.04.2016 г. № 16-12/62
на № _____ от _____

Справка

Дана Клименко Ольге Евгеньевне, старшему научному сотруднику ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», в том, что результаты ее научной работы «Научные основы оптимизации садовых агроценозов степного Крыма» использованы при чтении курса «Плодоводство» для студентов третьего курса агрономического факультета специальности «Плодоовощеводство и виноградарство» Академии биоресурсов и природопользования ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского».

Заведующий кафедрой
плодоводства и виноградарства,
доктор с.-х. наук, профессор В.И. Копылов

Подпись Копылова В.И. удостоверяю
Директор Академии биоресурсов и
природопользования КФУ им.
В.И. Вернадского С. В. Додонов

Приложение Е

РЭСПУБЛІКА БЕЛАРУСЬ

ПАТЭНТ

НА ВЫНАХОДСТВА

№ 19961

Способ обработки семян и корневой системы сеянцев плодовых культур

выдадзены
Нацыянальным цэнтрам інтэлектуальнай уласнасці
ў адпаведнасці з Законам Рэспублікі Беларусь
«Аб патэнтах на вынаходствы, карысныя мадэлі, прамысловыя ўзоры»

Патэнтаўладальнік (патэнтаўладальнікі):

Государственное научное учреждение "Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси" (BY)

Аўтар (аўтары):

Картыжова Лилия Евгеньевна (BY); Алещенкова Зинаида Михайловна (BY); Клименко Ольга Евгеньевна (RU); Клименко Николай Иванович (RU)

Заяўка № **a 20121556** Дата падачы: **13.11.2012**

Зарэгістравана ў Дзяржаўным рэестры вынаходстваў: **07.12.2015**

Дата пачатку дзеяння: **13.11.2012**

Генеральны дырэктар П.М. Броўкін