

ФГБОУ ВО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия»

УДК: 633.853.494: 631.4 (574.2)

На правах рукописи

БАТМАНОВ АНДРЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ

**Аккумуляция тяжелых металлов
интродуцированными сортами земляники садовой
в условиях степной зоны Самарского Заволжья**

06.01.04 - агрохимия

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
кандидат биологических наук,
доцент **Троц Н.М.**

Кинель – 2017

Содержание

	Стр.
Введение	3
1 Обзор литературы	9
1.1 Физиологическая роль тяжелых металлов	9
1.2 Устойчивость растений к действию тяжелых металлов	26
1.3 Биологические особенности земляники садовой	30
1.4 Влияние агротехнических приемов на содержание различных форм тяжелых металлов в почвах, на урожайность и качество ягодной продукции	33
2 УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	40
2.1 Природно-климатические условия возделывания земляники садовой	40
2.2 Характеристика опытного участка, агротехника, схема опыта и методика исследований	43
3 Особенности накопления тяжелых металлов в почвах и растениях производственных плантаций земляники садовой	53
3.1 Агрохимические показатели почв производственной плантации сортовых участков земляники садовой	53
3.2 Содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почве производственных сортовых участков земляники садовой	57
3.3 Сортвые особенности аккумуляция тяжелых металлов в растениях земляники садовой	62
4 Эффективность использования минеральных удобрений и опал-кристаллитовой породы (опоки) на аккумуляцию тяжелых металлов почвой и растениями земляникой садовой	69
4.1.Фенологические наблюдения вегетационного периода земляники садовой	
4.2 Влияние минеральных удобрений и опоки на содержание валовой и подвижной формы тяжелых металлов в почвах опытного участка	71
4.3 Влияние минеральных удобрений и опоки на накопления тяжелых металлов сортовыми растениями земляники садовой	82
5 Оценка экономической эффективности использования минеральных удобрений и опал-кристаллитовой породы (опоки) для получения экологически безопасной продукции земляникой садовой	98
Выводы	99
Предложения производству	102
Список использованной литературы	103
Приложения	118

Введение

Актуальность работы. Земляника садовая – источник углеводов и витаминов, красивое и полезное лакомство, повсеместно выращивается на территории Самарской области. Для увеличения площадей возделывания плодовых и ягодных культур в области ежегодно вводится 250-300 гектаров высокоинтенсивных садов. Окультуривание почв и повышение их плодородия напрямую связано с проблемой получения качественной продукции. Результаты исследования показали возможность загрязнения ягод земляники тяжелыми металлами (ТМ) (Беспамятнов Г.П., 1985; Мотылева С.М., 2000; Ветрова О.Ф., 2015). По сравнению с другими ягодными культурами, земляника более чувствительна к загрязнению почв тяжелыми металлами, поскольку имеет неглубокую корневую систему, а основное количество токсикантов аккумулируют верхние горизонты почвы. В связи с этим разработка приемов по получению экологически качественной продукции земляники садовой, несомненно, актуальна и представляет существенную производственную значимость.

Эффективными приемами по регулированию токсикантов в почве могут являться подбор устойчивых к накоплению тяжелых металлов сортов и использование природных адсорбентов, которые уменьшают их доступность для растений.

Степень разработанности проблемы. Масштабные исследования по особенностям аккумуляции тяжелых металлов важнейшими сельскохозяйственными растениями в Самарской области были проведены в 1997 году Н.М. Матвеевым, Н.В. Прохоровой, В.А. Павловским. Ягодные культуры исследованию не подвергались и фоновые данные по содержанию тяжелых металлов отсутствуют. Исследования, касающиеся возделывания земляники садовой в Среднем Поволжье отражены в трудах Е.В. Кольцова, 1983, А.А. Зубова, 1990, С.М. Резника, 1991, в результатах 30-летних трудов по селекции и сортоизучению Е.И. Ольхиной (1972). В исследованиях М. И. Антиповой (2010) выделены сорта и отборные формы земляники садовой для выращи-

ния в полевых условиях Самарской области: Лорд, Даренка, Фея, Троицкая, Царскосельская. И. В. Муханин проводил исследования в 2011,2012,2013 гг. по изучению высокоэффективных интегрированных технологий на продуктивность земляники садовой и экономическую эффективность производства ягодной продукции. Между тем, применение высокоэффективных технологий, минеральных удобрений обеспечивающих высокопроизводительное хозяйство связано с интенсивным техногенным воздействием на среду. Исследованиями доказана важность контроля над содержанием тяжелых металлов в плодах и ягодах и определены уровни допустимых концентраций. В условиях Самарской области экологическая устойчивость земляники садовой в отношении накопления тяжелых металлов не изучалась.

Цель и задачи исследований.

Цель исследований – выявить особенности аккумуляции тяжелых металлов перспективными сортами земляники садовой при возделывании в южной зоне Самарской области и оценить возможность агроприемов, обеспечивающих получение высококачественной и экологически чистой пищевой продукции.

Для выполнения поставленной цели были намечены следующие задачи:

– определить сезонную динамику содержания элементов питания в почве и растениях земляники садовой.

– провести сравнительный анализ содержания тяжелых металлов в почвах и растениях производственных сортовых плантаций земляники садовой.

–изучить эффективность использования опал-кристобалитовой породы (опоки) в сочетании с минеральными удобрениями на аккумуляцию тяжелых металлов (кадмия, свинца, меди, цинка, марганца, хрома, железа) земляникой садовой сортов Эльсанта и Хоней.

– дать экономическую оценку применения агротехнических приемов, уменьшающих накопления тяжелых металлов в плодах земляники садовой

Научная новизна. Впервые в условиях степной зоны Самарского Заволжья проведен комплексный агроэкологический анализ производственных сортовых плантаций земляники садовой сортов Эльсанта, Хоней, Мармолада возделываемых на черноземных почвах с использованием технологии капельного орошения. Определены основные агрохимические показатели почвы, на которой выращивают землянику (рН, содержание гумуса, значения NPK). Осуществлена количественная оценка уровней накопления тяжелых металлов (Cd, Pb, Zn, Cu, Mn, Fe, Cr) в системе «почва – поливная вода – растения». Выявлена степень опасности и характер аккумуляции тяжелых металлов в плодах земляники. Изучена эффективность и произведена экономическая оценка использования опал-кристобалитовой породы (опоки) Балашейского месторождения в сочетании с минеральными удобрениями на аккумуляцию тяжелых металлов (кадмия, свинца, меди, цинка, марганца, хрома, железа) земляникой.

Теоретическая и практическая значимость. Полученные данные агроэкологического состояния почв и растений на плантациях интродуцированных сортов земляники садовой могут быть использованы в исследованиях региональных особенностей аккумуляции тяжелых металлов. Возможные агроприемы по регулированию токсикантов в природных объектах рекомендованы к применению в хозяйствах, занимающихся возделыванием сезонных ягод земляники садовой. Особенности накопления тяжелых металлов новыми сортами земляники садовой могут быть использованы при обновлении сортового реестра региона.

Объект и предмет исследований. Объект исследований – земляника садовая сортов Эльсанта, Хоней, Мармолада. Опыт закладывается по гербицидному пару, подготовка которого осуществляется с применением почвозащитной влагосберегающей технологии.

Экспериментальные исследования проводились с 2003 по 2013 г.г. в ООО «Сад», п. Садовый, Самарской области, Приволжского района.

Программа исследований включает в себя:

1 – комплексное агроэкологическое обследование сортовых плантаций земляники садовой

2 – изучение эффективности опоки Балашейского месторождения и ее смеси с минеральными подкормками в качестве адсорбента тяжелых металлов.

Методология и методы исследований. Образцы почв отбирались сопряжено с пробами растений в соответствии с «Методическими указаниями по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства». Проанализировано 120 почвенных и 210 растительных образцов.

В отобранных образцах определяли: содержание гумуса по Тюрину; pH солевой вытяжки; содержание подвижного фосфора в нейтральных почвах по Чирикову, в карбонатных почвах по Мачигину; содержание обменного калия в нейтральных почвах по Чирикову, в карбонатных почвах по Мачигину; содержание легкогидролизуемого азота в кислотной (0,5 н. H₂SO₄) вытяжке по Тюрину и Кононовой в модификации Кудеярова; содержание тяжелых металлов (кадмий, свинец, медь, железо, цинк, марганец, железо, хром) было определено методом атомно-адсорбционной спектроскопии на приборе «Спектр 4-5».

Содержание подвижного фосфора и обменного калия получены разными методами, результаты лабораторных анализов по Мачигину пересчитаны по методу Чирикова.

Содержание валовой формы тяжелых металлов (кадмия, свинца, меди, цинка, марганца, хрома) и подвижной формы элементов (кадмия, свинца, меди, цинка, марганца, хрома, железа) определялось атомно-абсорбционными методами в аккредитованной лаборатории станции агрохимической службы «Самарская». Для экотоксикологической оценки почв и растений использовали предельно допустимые концентрации (ПДК) [10, 109] и фоновые значения элементов [11]. В отобранных растительных образцах содержание тяжелых металлов было определено пламенным и электротермическим вариантами.

ми атомно-адсорбционной спектроскопии с предварительной подготовкой проб методом «сухой» минерализации.

Методы исследований: полевой и лабораторно-полевой.

Основные положения, выносимые на защиту

- применение интенсивных технологий для улучшения питательного режима почвы;
- влияние интенсивных технологий на концентрацию валовых и подвижных форм Cd, Pb, Zn, Mn, Cu, Fe, Cr в почве промышленных плантаций для выращивания земляники садовой;
- сортовые особенности накопления тяжелых металлов земляникой садовой;
- влияние опоки на аккумуляцию тяжелых металлов растениями земляники садовой и экономическая оценка ее применения.

Степень достоверности. Достоверность полученных результатов подтверждается анализами сертифицированной аккредитованной лаборатории, большим количеством наблюдений и учетов лабораторных и полевых опытов.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на Международной научно-практической конференции «Вклад молодых ученых в аграрную науку Самарской области», Самара 2011; на Всероссийской научно-практической конференции в рамках XXI международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2011» «Особенности развития агропромышленного комплекса на современном этапе», Уфа 2011; на региональной научно-практической конференции молодых ученых «Перспективы развития АПК в работах молодых ученых», Тюмень 2014; на Международная научно-практической конференции « Вклад молодых ученых в аграрную науку», Кинель 2016; на Международной научно-практической конференции «Инновационные достижения науки и техники АПК», Кинель 2016, на Международной научно-практической конференции «Результаты развития частной селекции

сельскохозяйственных культур на современных этапе», посвященной 80-летию со дня рождения академика РАСХН, заслуженного деятеля науки РФ И.В.Казакова, с.Кокино, Брянская область, 2017.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 статей, в т. ч. 5 статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК.

Объем и структура диссертации. Диссертация изложена на 102 страницах компьютерного текста (без списка литературы и приложений), состоит из введения, обзора литературы, условий и методики проведения исследований, четырех глав, включающих результаты исследований, выводов и рекомендаций производству. Содержит 27 таблиц, 6 рисунков и 4 приложения. Список литературы составляет 132 источника, в том числе 15 зарубежных авторов.

Личный вклад автора. Диссертация является результатом анализа и обобщения исследований автора за 2003-2013 гг., которые опубликованы в научных статьях. Определение актуальных направлений исследований, оценки влияния изучаемых факторов на морфологические и биологические особенности роста и развития, формирование урожая и качество продукции, выводы и предложения производству в работе выполнялись лично автором.

1 Обзор литературы

1.1 Физиологическая роль тяжелых металлов

Особое значение приобрело загрязнение биосферы группой поллютантов, плазматических ядов, с общим названием тяжелые металлы (ТМ). Термин «тяжелые металлы» характеризует широкую группу загрязняющих веществ. В связи с различной трактовкой их количество изменяется в широких пределах. Критериями принадлежности являются атомная масса (свыше 40-50), плотность (5 г/см³), токсичность, степень вовлечения в природные и техногенные циклы, распространенность в природе [1]. Под этот термин попадают более 40 элементов периодической системы Д.И. Менделеева в том числе, относящиеся к хрупким (Bi) или металлоидам (As), способные накапливаться в гумусовых горизонтах почвы проявляя регрессионно-аккумулятивный тип распределения (накапливание в верхних горизонтах и снижение в нижних) [2].

Среди токсичных веществ тяжелые металлы занимают особое место, поскольку в отличие от других загрязнителей их соединения довольно устойчивы и сохраняют токсичное действие длительное время. Тяжелые металлы длительное время остаются ведущей группой загрязнителей, представляющих научный и практический интерес [3,129].

Биогеохимия металлов эволюционировала после геохимических школ, основанных Ф.У. Кларком, В.И. Вернадским, А.Е. Ферсманом, В.М. Гольдшмидтом, Г.С. Вашингтоном. Современный период развития биосферы характеризуется увеличением миграции ряда металлов. Интенсивность техногенной миграции весьма высока у Fe, Cr, Mn, Cd. Проблема загрязнения среды остается актуальной в связи с расширением их потребления и ростом источников поступления. Приоритетной задачей в решении этой проблемы в современных исследованиях является поведение металлов и ионов металлов в окружающей среде.

Роль тяжелых металлов двухфазна: они необходимы для нормального протекания физиологических процессов и считаются эссенциальными (жиз-

ненно важными) микроэлементами (таблица 1), но являются токсикантами и при высоких концентрациях и причиняют вред организму.

Таблица 1 – Содержание в организме некоторых эссенциальных микроэлементов и их биологическая роль

Элемент, количество в организме взрослого человека	Биологическая роль
Железо, 4-5 г	Транспорт и депонирование кислорода, цитохромы, окислительное фосфорилирование, редокс-ферменты, антиоксидантное действие, необходимость для синтеза порфирина в гемоглобине, миоглобине.
Медь, 80-120 мг	Оксидазы, окислительное фосфорилирование, антиоксидантное действие, метоболизм жирных кислот, метоболизм фенольных соединений, переносчик кислорода в реакциях сшивания коллагена и образования пигментов, участие в метоболизме соединительной ткани (коллагена, эластина).
Цинк, 1-2 г	Входит в состав 70 ферментов, включая карбоангидразу, дигидрогеназу, щелочную фосфатазу, участвует в усвоении силикатов, метоболизме нуклеиновых кислот и клеточном делении, в гидролизе фосфатов, синтезе РНК.
Марганец, 12-20 мг	Антиоксидантное действие, кофактор дыхательных ферментов, синтез стирола, гликозилирование, метоболизм углеводов, синтез мукополисахаридов в хрящах.
Хром, 6 мг	Углеводный обмен, в организмах кофактор инсулина, оптимизация толерантности к глюкозе.
Селен, 14 мг	Антиоксидантное действие, оксидазы, обладающие смешанной микросомальной функцией, поддержание сохранности спермы.
Молибден, 10 мг	Метоболизм пуринов и серы.
Кобальт, 1,5 мг.	Одно из действующих начал витамина В12, реакции окисления-восстановления меди. В составе нитроредуктазы, альдегидоксазы.
Ванадий	Фиксация азота; окислительно-восстановительный катализ в превращениях эфиров; метоболизм железа.
Никель	Содержится в уреазе, стабилизирует структуру РНК, ДНК и рибосом.

Это связано с тем, что многие ферменты в организме функционируют в присутствии небольших количеств металлов-микроэлементов. Избыточное их

количество в организме связывается с функциональными группами жизненно важных соединений, и они становятся «металлическими ядами» [4]. По чувствительности к металлам животных и человека их можно расположить в следующий ряд: Hg > Cu > Zn > Ni > Pb > Cd > Cr > Sn > Fe > Mn. При этом для каждого металла существует свой механизм токсичного действия, обусловленный конкуренцией между необходимыми и токсичными металлами за место в белковой молекуле [5].

Поступление тяжелых металлов в окружающую среду имеет как естественное, так и техногенное происхождение. Техногенная доля меди и цинка в атмосфере составляет примерно 75%, кадмия и ртути - 50%, никеля 30%, кобальта 10%. Наиболее высокая эмиссия характерна для свинца - 50-80%. При этом необходимо определять источники поступления металлов в среду: естественные (природные) и техногенные. Естественными источниками являются горные породы, термальные воды и рассолы, космическая и метеоритная пыль, вулканические газы. Наиболее важные техногенные источники: предприятия черной и цветной металлургии; металлообрабатывающие предприятия; автотранспорт; минеральные и органические удобрения, сточные воды и отходы животноводческих комплексов; электростанции, сжигающие уголь; сжигание различных отходов; добыча полезных ископаемых [6,127].

Антропогенный вклад наиболее заметен для Mn, Cu, Zn, Cd, и Pb. Значительное обогащение природной среды тяжелыми металлами наряду с низким уровнем этих металлов в биосфере и высокой токсичностью требует контроля за их содержанием в пищевых продуктах, когда они присутствуют в повышенных биодоступных концентрациях. Обычно это наблюдается у сельскохозяйственных культур [7].

Поступления тяжелых металлов в растения может осуществляться за счет корневого и фоллиарного поглощения [8]. Важнейшим компонентом агроценозов являются почвы, на которых оседает большая часть загрязнителей [9,124,132]. Аккумуляция тяжелых металлов почвами зависит от целого комплекса природных и техногенных факторов: характер почвообразующих по-

род, климат, растительность, рельеф местности, расположение и особенности техногенных источников тяжелых металлов региона [10].

В почвенном покрове лесостепного и степного Поволжья количественное соотношение содержания тяжелых металлов в почвах отражает следующий ряд: Fe > Ti > Mn > Sr > Cr > Rb > Zn > V > Cu > Ni > Co > Pb, при этом установлено очень близкое к кларкам почв мира содержание Ti, Fe, Co, Rb, Pb, более высокое содержание Cu и Zn (в 1,5-2,5 раза), более низкое – V, Cr, Mn, Ni, Sr. Почвы степной зоны накапливают меньше тяжелых металлов по сравнению с почвами лесостепной зоны [11]. Металлы в сельскохозяйственных культурах распределяются неодинаково. На основе литературных данных представлены описания металлов активно мигрирующих в агроценозах.

Свинец. Относится к металлам, проявляющим сильно выраженные токсикологические свойства при самых низких концентрациях и не выполняющим какой-либо полезной функции. Pb – политропный яд, относящийся к 1 классу опасности, согласно документов Международного агентства канцерогенного регистра. Организм детей сорбирует 40% Pb поступающего с пищей, взрослых – 5-10%. При дозе с 10 до 20 мкг/л в крови происходит снижение умственного развития детей [12]. Pb проникает в организм через дыхательные пути или пищеварительный канал, обладает способностью накапливаться в различных органах и тканях. Появление свинцовой интоксикации обусловлены тем, что Pb блокирует тиоловые группы различных ферментов, в том числе участвующих в синтезе порфинов и гемма. Pb характеризуется гонадотоксическим, эмбриотоксическим и мутагенным действием [13].

Естественными источниками Pb в окружающую среду являются эндогенные и экзогенные минералы. Значительное повышение Pb в окружающей среде связано со сжиганием угля, применением тетраэтилсвинца, с выносом в водные объекты со сточными водами рудообогатительных фабрик, некоторых металлургических заводов, химических производств, шахт. Загрязнение окружающей среды свинцом и его соединениями происходит в отраслях производств: цветная металлургия (98% от всей металлургии), производство ак-

кумуляторов, производство этилированных бензинов, пигментов, сиккативов, стекол, смазок, консервы, деревообработка, оборонное производство. Источник техногенного рассеивания Pb – воздействие на метеорологические процессы, основной агент – йодистый свинец. Выброс Pb в мировой океан – 430-650 тыс. тонн в год [12,122].

Pb легко проникает в почву и аккумулируется растениями, включаясь в трофические цепи питания. При низких концентрациях в почвах стимулирует рост растений. В загрязненных почвах наблюдается подавление микробиологической активности, замедляется процесс фотосинтеза, уменьшается процесс поглощения воды растениями. Наиболее высокая опасность накопления подвижной формы свинца наблюдается в сильнокислых почвах с восстановительным режимом, наименьшая в нейтральных и слабощелочных почвах с окислительным режимом [14]. Устойчивость растений к избирательному накоплению Pb неодинакова: менее устойчивы злаки, более устойчивы бобовые. Расчетами доказано, что безопасное зерно пшеницы можно выращивать на почвах, содержащих не более 16 мг/кг Pb, соломы озимой пшеницы – 75 мг/кг [15,131,126]. По данным многочисленных исследований концентрация Pb в почвах фоновых районов бывших стран членов СЭВ колеблется в интервале 1-30 мг/кг, а фоновых районов мира 1-80 мг/кг, при среднем 16 мг/кг. Содержание Pb в верхних горизонтах почвы колеблется в пределах 3-190 мг/кг, при среднем 32 мг/кг[16,17,18].

Вывод свинца из пищевой цепи – глобальная проблема. Учеными предлагается внесение азотных удобрений в почву загрязненную свинцом и мышьяком. В Японии запатентовано вещество для обработки почвы – меркапто-8-триазин, связывающее тяжелые металлы [19]. В ФРГ принято в тех же целях вводить хелатные смолы [20]. В нашей стране ученые Московского лесотехнического института получили ряд составов, включающих азотнокислый торий, пентаоксид ванадия, азотнокислый кобальт – названные адаптогенами. Они помогают растениям «приспособиться» к воздействию повышенных концентраций вредных веществ[21].

Кадмий. Cd относят к токсичным ультрамикроэлементам. Физиологическая потребность в этом элементе составляет от 1 до 5 мкг, в количестве превышающем 50 мкг Cd поражает многие системы организма – оказывает влияние на углеводный обмен, нарушает фосфорно-кальциевый обмен, приводит к нарушениям функций легких, деформации скелета и непроизвольным переломам костей, поскольку способен вымывать кальций из организма [22]. Международное агентство по изучению рака (IARC) относит Cd к веществам 1 класса опасности и определяет его как канцероген для человека [23]. При попадании в организм блокируется синтез витамина Д, нарушается минерализация костей (болезнь итай-итай). Заболевшие болезнью итай-итай в 50-е год XX века люди в Японии потребляли 0,6 мг Cd в сутки. В организм Cd чаще всего попадает с растительной пищей. Он легко переходит из почвы в растения, в связи с тем, что последние способны поглощать до 70% Cd из почвы и лишь 30% из воздуха. Для Cd характерно сродство с зерновыми культурами. ПДК в зерне для Cd 0,1 мг/кг (детское питание 0,03 мг/кг). При действии Cd на растения возникает угнетение роста, торможение фотосинтеза, хлороз листьев. Cd может замещать Zn в составе ферментативных систем, приводя к торможению многих энзимотических реакций, нарушению проницаемости мембран [24]. Чемпионом по аккумуляции Cd является подсолнечник, его семена, майонез, масло. Халва накапливает Cd в 2,6 раза выше нормы [25].

Наиболее интенсивные источники загрязнения окружающей среды кадмием – металлургия и гальванотехника, а также сжигание твердого и жидкого топлива. Около 52% кадмия попадает в окружающую среду при сжигании и переработки материалов, его содержащих, особенно изделий из пластмасс, куда он добавляется для прочности и кадмиевых красителей. Сжигание мазута и дизельного топлива является дополнительным источником кадмиевых загрязнений [26].

До 70% попадающего в почву Cd связывается почвенными комплексами, доступными для усвоения растениями, его соединения мобильны, отлич-

чаются большой биодоступностью и тенденцией к бионакоплению. В растениях Cd концентрируется в корнях, в меньшей степени листьями [27,121,130]. Одним из основных источников в почвах агроценозов являются удобрения в особенности суперфосфат, куда Cd входит в виде примеси.

Медь. Cu относится к умеренно токсичным металлам, которые в избыточном количестве оказывает ингибирующее воздействие на организмы [28,123].

Медь сравнительно мало распространена в природе. Среднее содержание ее в земной коре составляет 0,01 % по массе, причем основные и ультраосновные породы богаче медью по сравнению с кислыми массивно-кристаллическими породами, незначительные количества меди содержатся в известняках, доломитах, валунных суглинках и песках. Кларк меди в земной коре - 47 мг/кг. Медь находится преимущественно в соединениях с серой, железом, кислородом, встречается также в свободном состоянии в виде самородков. Медь образует множество минералов (медный колчедан, медный блеск, малахит, лазурит и др.), среди них наиболее распространены первичные минералы - простые и сложные сульфиды. Они подвержены выветриванию (особенно в кислой среде), которое сопровождается появлением в среде ионов меди. Элемент обладает очень сильными комплексообразующими свойствами. Наиболее прочно микроэлемент связывается монтмориллонитом, глинами и гумусом почвы. Большую роль в миграции меди играют биологические процессы, в частности микробиологическая фиксация. Содержание меди в почве тесно связано с ее механическим составом, количеством органического вещества и суммой поглощенных оснований. Чем тяжелее механический состав почвы и больше поглощенных оснований, тем выше содержание меди. Медь - типичный элемент с высокой агрохимической активностью, т.к. ее вынос колеблется от 62 до 84 %. Поэтому вероятность истощения почв без внесения ее с удобрениями весьма вероятна и, в первую очередь, на почвах с низким содержанием этого элемента [29].

Медь незаменимый элемент для нормальной жизнедеятельности растений, животных, человека. При избытке элемента происходит его аккумуляция в печени с последующим внезапным разрушением эритроцитов и резким повышением концентрации билирубина. Избыток свободной меди угнетает активность окислительных ферментов, что приводит к гибели клеток и усиливает тканевую гипоксию [30]. При недостатке в травяных кормах меди у животных ослабляется костная ткань, фосфорный и железный обмен, понижается в крови содержание гемоглобина. При недостатке меди в кормах животные теряют аппетит, сильно худеют и лижут несъедобные предметы, в связи с чем эта болезнь получила название «лизухи». Cu относительно распространенный элемент – кларк земной коры 0,0047%, для почв мира – 0,002% или 20 мг/кг [31].

Содержание меди в почвах колеблется в широких пределах: от 0,1 до 140 мг/кг, хотя в глобальном масштабе доходит до 3700 мг/кг [32,33]. Количество этого элемента в почве зависит от типа, подтипа и особенностей почвообразования. Лучше обеспечены медью красноземы и желтоземы; хуже – песчаные и органические почвы [4]. Дерновоподзолистые почвы содержат меди в среднем 15 мг/кг при колебаниях от 0,1 до 48 мг/кг. Серые лесные почвы содержат в среднем 15 и в интервале 5-мг/кг; черноземы – 30 и 7-58 мг/кг; каштановые – 10 и 0,6-20 мг/кг; болотные – 11 и 2-37 мг/кг; торфяник верховой - 3 и 1-5 мг/кг; засоленные – 27 и 4-42 мг/кг; сероземы -11 и 5-20 мг/кг; красноземы и желтоземы – 76 и 21-40 мг/кг; почвы тундры – 9 и 2-23 мг/кг. В эталонном курском черноземе меди содержится 26 мг/кг, а в большинстве почв Северного Кавказа – 20-35 мг/кг [34,35]. В пахотном горизонте серых лесных почв Центрального Черноземья России содержание валового количества меди различается у подтипов: от 8,5 до 11,7 в светло-сером: 9,2-11,7 в сером; 14,0-18,2 мг/кг в темно-сером [36]. Авторы связывают большее содержание меди в темно-серых лесных почвах с интенсивным дерновым процессом по сравнению со светло-серым подтипом. Кроме того, в органическом веществе темно-серых лесных почв значительно возрастает доля гуминовых

кислот, прочно закрепляющих Cu [37]. Содержание меди в темно-серых лесных почвах под лесом приближается к ее количеству в черноземах и обусловлено биогенной аккумуляцией элемента [38]. Однако для питания растений особое значение имеет не валовое содержание меди, а количество ее подвижных форм в почве. Обычно количество растворимых, доступных растениям, форм меди в природных условиях не превышает 10 % от общего его содержания. Содержание подвижной меди в почвах стран СНГ колеблется от 1 до 30 мг/кг. У песчаных и супесчаных почв этой формы меди - 1,1-2,2 мг/кг, у суглинистых – 3,0-7,8 мг/кг, у каштановых и дерново-подзолистых - 6-мг/кг, у черноземов – 7-30 мг/кг, у красноземов и серых лесных суглинистых почв - 8-40 мг/кг [39,40,41]. Медь находится в почвенном растворе в поглощённом органическими и минеральными коллоидами состоянии в виде труднорастворимых солей и гидратов окиси меди, металло-органических комплексов и как составная часть некоторых минералов. Содержание меди в почвах тесно связано с её гранулометрическим составом, количеством органического вещества и суммой поглощённых оснований. Чем тяжелее гранулометрический состав почвы и больше поглощённых оснований, тем выше содержание меди. В тяжёлых по гранулометрическому составу почвах меди больше, чем в лёгких, при возрастании степени оподзоленности (выщелоченности) количество меди и её подвижность уменьшается. В условиях Краснодарского края к минимально обеспеченным подвижными формами меди отнесены горные перегнойно-карбонатные почвы, черноземы долинные и малогумусные карбонатные (с содержанием 2,5-4,5 мг/кг); черноземы слабогумусные, каштановые, горнолесные бурые почвы (4,5 -5,5 мг/кг). Наиболее многочисленная группа включает почвы со средним содержанием подвижной меди – 5,5–7,мг/ кг, куда вошли луговые и аллювиально-луговые суглинистые почвы, черноземы малогумусные слабощелочные и выщелоченные, горно-лесные и лесостепные среднегумусные. В черноземах слитых и лугово-черноземных почвах среднее содержание подвижной меди – 7-мг/кг. На южных склонах Кавказских гор в горно-лесных бурых почвах – 9-20 мг/кг; на

пойменных почвах дельты реки Кубани – 2,5-5,5 мг/кг [35] Низкое содержание меди (1,5–3,0 мг/кг) характерно для областей Центрально-Чернозёмной зоны, в том числе и для Тамбовской области.

Количество меди в растениях находится в интервале 1,5-31,0 мг/кг сухого вещества, и ее содержание зависит от культур, органов растений и условий выращивания. Этот элемент в растениях не реутилизируется. Больше меди находится в листьях и семенах, меньше – в корнях и совсем мало в стеблях. Количество этого элемента у одного и того же вида растений при выращивании на разных почвах различается в 2-8 раз. Распределение в листьях относительно равномерное; однако содержание в корневой системе зависит от запаса меди в почве. При низкой концентрации ионов меди их распределение между зародышевыми и узловыми корнями равномерно. Однако при средней и высокой концентрации они преимущественно аккумулируются в зародышевых корнях. В семенах больше меди в зародыше и семенных оболочках, меньше - в эндосперме.

Медь входит в состав ряда ферментов, обеспечивающих нормальную жизнедеятельность клеток, принимает участие в образовании хлорофилла и других окислительно-восстановительных процессах, протекающих в клетках растений. Растения поглощают из почвы от до 80 г/га меди [33]. Медь участвует в углеводном и белковом обменах растений, действие меди в этих реакциях специфическое, и она не может быть заменена каким-либо другим элементом. Под влиянием меди повышается активность пероксидазы, синтез белков, жиров и углеводов, а также интенсивность дыхательных ферментов. Недостаток меди вызывает у растений понижение активности синтетических процессов и ведёт к накоплению растворимых углеводов, аминокислот и других продуктов распада сложных органических веществ. При нехватке меди у растений происходит увядание, потеря тургора, хлороз листьев, задержка стеблевания и слабое образование семян. Признаки недостатка меди отмечаются у молодых частей растений. Медное голодание более распространено у сливы, груши, яблони, пшеницы, ячменя, овса и других культур. Среди пло-

довых культур слива наиболее чувствительна к недостатку меди. Молодые листья верхушечных побегов становятся уродливой формы, желтоватой окраски, отмирают по краям, затем засыхают и опадают. Из нижних почек образуются новые боковые побеги, которые, не развившись, могут также засыхать и опадать. При недостатке меди у листьев яблони, расположенных на верхушках побегов, появляются некротические коричневые пятна, верхушки медленно увядают и отмирают; в следующий вегетационный период рост возобновляется из почки, расположенной ниже точки отмирания. Отрастание и отмирание в течение нескольких лет приводит к появлению кустовидной и малорослой формы. Недостаток меди у пшеницы, ячменя, овса проявляется в побелении кончиков листьев с изменением ярко-зелёной окраски на светло-зелёную, новые листья слабо развёртываются и быстро отмирают. У пшеницы вместе с отмиранием верхушечного листа начинается усиленное кущение, вновь образованные побеги также поражаются, пока растение не засохнет. При умеренном медном голодании колос развивается слабым, хлоротичным, зёрна слабовыполненные, щуплые. Аналогично злаковым, выращиваемым в зерновых целях, развиваются травосмеси, выращиваемые на корм [42].

Цинк. Цинк- жизненно необходимый (эссенциальный) микроэлемент, один из самых распространённых микроэлементов организма, количественно, второй после железа [43]. Общее содержание цинка в земной коре 0,02 %. Кларк цинка в земной коре - 83 мг/кг. Главные минералы и горные породы, которые могут служить природными загрязнителями цинком, являются сфалерит, смитсонит, каламин, госларит, цинкит. Антропогенные факторы загрязнения цинком могут быть сточные воды с разных промышленных объектов (фабрики по производству минеральных красок, пергаментной бумаги, вискозного волокна и гальванические цехи) [44].

Цинк обладает слабой фитотоксичностью, которая обнаруживается только при существенном увеличении его содержания в почве. Так, на почвах с малой емкостью катионного поглощения токсичный эффект цинка наблюдается при поступлении его в количествах 400-700 кг/га, а на почвах с

большой емкостью поглощения - 2000 кг/га. Проявление признаков токсичности цинка у растений наступает при содержании его в тканях 300-500 мг/кг сухой массы. Обычное содержание цинка в частях растений, бедных хлорофиллом, составляет 7-27 мг/кг сухой массы, а в материалах, богатых хлорофиллом, - 40-95 мг/кг. Все культурные растения по отношению к цинку делятся на 3 группы: - очень чувствительные (кукуруза, лен, хмель, виноград, плодовые); - средне чувствительные (соя, фасоль, кормовые бобовые, горох, сахарная свекла, подсолнечник, клевер, лук, картофель, капуста, огурцы, ягодники); - слабо чувствительные (овес, пшеница, ячмень, рожь, морковь, рис, люцерна) [42].

Цинк повышает активность фотосинтеза. Без внесения этого элемента у бобов наблюдались увядание и опадение листьев и цветочных почек, семена не образовывались. Недостаток цинка обычно вызывает задержку роста растений и уменьшение количества хлорофилла в листьях. От дефицита цинка страдают также горох, бобы, овес, клевер, люцерна и многие другие культуры. При этом отмечались мелколистность и скручивание листьев, тусклая светло-зеленая окраска или хлороз (между жилками). E. G. Viets и др. (1954) описали признаки цинковой недостаточности для 26 культур. Они отмечали, что при недостатке цинка растения плохо развиваются, у них наблюдается пятнистость нижних листьев, а это в свою очередь влияет на урожайность и качество продукции [45]. Применение цинковых удобрений увеличивает содержание аскорбиновой кислоты, сухого вещества и хлорофилла в листьях кукурузы. Цинковые удобрения повышают засухо-, жаро- и холодоустойчивость растений. Недостаток цинка сильнее сказывается на образовании семян, чем на развитии вегетативных органов. При недостатке цинка в растениях томата и цитрусовых накапливаются редуцирующие сахара и уменьшается содержание крахмала. Имеется указание, что недостаток цинка сильнее проявляется у растений, богатых углеводами. Многими исследователями доказана связь между обеспеченностью растений цинком и образованием и содержанием в них ауксинов. Цинковое голодание вызывается отсутствием ак-

тивного ауксина в стеблях растений и пониженной его деятельностью в листьях[46].

Физиологическое воздействие цинка заключается в действии его как активатора ферментов. Цинк входит в состав более двухсот ферментов, является составной частью гормонов (тимулин, тестостерон, пролактин, соматомедин), влияет на все виды обмена. Стимулирует секрецию инсулина и транспорт глюкозы, способствуя снижению повышенного уровня сахара в крови. Усиливает иммунный ответ, стимулирует деятельность половых желез. Участвуя в синтезе кератина и коллагена, благоприятно влияет на состояние кожи, ногтей и волос.

Большая часть цинка в организме взрослого человека находится в мышцах, костях и коже. Для обеспечения потребности ежедневное всасывание металла должно составлять не менее 5 мг (10-15 мг в сутки). Учитывая большое значение цинка в обмене веществ, его длительный дефицит может привести к развитию многих заболеваний: нарушению менструальной функции, бесплодию, потере сексуальной активности у мужчин, снижению иммунитета, кожным заболеваниям, развитию анемии, усиливает рост опухолей, нарушает рост волос и ногтей. В подростковом возрасте недостаток цинка приводит к неполноценному развитию половой системы, поскольку цинк входит в состав ферментов, участвующих в синтезе половых гормонов. В свою очередь, это ведет к ряду гормональных нарушений как у девочек (дисфункция яичников, позднее начало месячных, недоразвитие матки), так и у мальчиков (признаки инфантилизма, плохо развитая предстательная железа, недоразвитие яичек) [47].

Железо. Железо в очень высокой степени вовлечено в антропогенную деятельность, оно отличается высокой технофильностью. В процессе антропогенной деятельности вовлечено более 10 млрд т железа, 60 % которого рассеяно в пространстве [48]. Для растительных и животных организмов железо является эссенциальным микроэлементом, входящим в состав ферментных комплексов любых растений, как токсичный поллютант особого значе-

ния не имеет [49]. Организм взрослого человека содержит 4-5 г железа, которое входит в состав важнейшего дыхательного пигмента гемоглобина (55-70% от общего содержания), вырабатываемого костным мозгом и ответственного за перенос кислорода от легких к тканям, белка миоглобина (10-25%), необходимого для накопления кислорода в мышечной ткани, а также в состав различных дыхательных ферментов (около 1% общего содержания), например, цитохромов, катализирующих процесс дыхания в клетках и тканях. Кроме того, 20-25% железа храниться в организме как резерв, сосредоточенный в печени и селезенки в виде ферритина - железо-белкового комплекса, служащего "сырьем" для получения всех вышеперечисленным многообразных соединений железа. В плазме крови содержится не более 0.1% от общего содержания железа. Токсичной дозой для человека считается 200 мг в сутки, летальной 7-35 г. [50]. При избыточной концентрации Fe образует хелатоподобные комплексы с обычными метаболитами, нарушая обмен веществ, взаимодействуя с клеточными мембранами изменяя их проницаемость [51].

Различные соединения железа играют существенную и весьма сложную роль в почвенных процессах в связи со способностью элемента менять степень окисления с образованием соединений различной растворимости, окисленности, подвижности [52].

Fe необходимый элемент растительной клетки, выполняя каталитические функции, принимая участие в окислительно-восстановительных процессах дыхания, фотосинтеза, азотфиксации [53]. Содержание железа в листьях достигает сотых долей процента, за ним следует марганец, концентрация цинка выражается уже в тысячных долях, а содержание меди не превышает десятитысячных процента. Аккумулируется в основном в подземных органах, что считается проявлением защитной функции корневой системы в растительном организме [54,55]. Высокие концентрации железа в надземных органах могут свидетельствовать о биологической способности растений аккумулировать металл в фотосинтетических тканях [56].

Железу принадлежит особая функция - неперенное участие в биосинтезе хлорофилла. Поэтому любая причина, ограничивающая доступность железа для растений, приводит к тяжелым заболеваниям, в частности к хлорозу. При нарушении и ослаблении фотосинтеза и дыхания вследствие недостаточного образования органических веществ, из которых строится организм растения, и дефицита органических резервов, происходит общее расстройство обмена веществ. Поэтому при остром недостатке железа неизбежно наступает гибель растений. У деревьев и кустарников зеленая окраска верхушечных листьев исчезает полностью, они становятся почти белыми, постепенно усыхают [53].

Марганец. Mn позиционируется как «микроэлемент» [57]. Марганец участвует в процессах дыхания, в синтезе жирных кислот, оказывает влияние на рост, является активатором некоторых ферментов, участвует в биосинтезе РНК и ДНК и образовании костной ткани [58]. При недостатке марганца у животных наблюдаются затруднения в репродукции, дефекты в развитии скелета [59]. Превышение концентрации Mn в организме человека приводит к снижению интеллектуальных способностей у детей, может спровоцировать возникновение серьезных заболеваний костной системы. Отравление марганцем имеет либо неврологическую, либо легочную форму [60].

Роль марганца в обмене веществ у растений сходна с функциями магния и железа. Mn активно поглощается и легко переносится растениями не связываясь с нерастворимыми органическими лигандами. Mn концентрируется в листьях растений, что связано с участием в процессах фотосинтеза, протекания реакций цикла Кребса, синтеза нуклеиновых кислот [61,125]. Признаки дефицита марганца у растений чаще всего наблюдаются на карбонатных, сильноизвесткованных, а также на некоторых торфянистых и других почвах при pH выше 6,5. Недостаток марганца становится заметным сначала на молодых листьях по более светлой зеленой окраске или по обесцвечиванию (хлорозу). В отличие от железистого хлороза у однодольных в нижней части пластинки листьев появляются серые, серо-зеленые или бурые, посте-

пенно сливающиеся пятна, часто с более темным окаймлением. Признаки марганцевого голодания у двудольных такие же, как при недостатке железа, только зеленые жилки обычно не так резко выделяются на пожелтевших тканях. Кроме того, очень быстро появляются бурые некротические пятна. Листья отмирают даже быстрее, чем при недостатке железа. Марганцевая недостаточность у растений обостряется при низкой температуре и высокой влажности. Видимо, в связи с этим озимые хлеба наиболее чувствительны к его недостатку ранней весной. Марганец участвует не только в фотосинтезе, но и в синтезе витамина С. При недостатке марганца понижается синтез органических веществ, уменьшается содержание хлорофилла в растениях, и они заболевают хлорозом. Симптомы марганцевой недостаточности у растений проявляются чаще всего на карбонатных, торфянистых и других почвах с высоким содержанием органического вещества. Недостаток марганца у растений проявляется в появлении на листьях мелких хлоротичных пятен, располагающихся между жилками, которые остаются зелеными. У злаков хлоротичные пятна имеют вид удлиненных полосок, а у свеклы они располагаются мелкими пятнами по листовой пластинке. При марганцевом голодании отмечается также слабое развитие корневой системы растений. Наиболее чувствительными культурами к недостатку марганца являются свекла сахарная, кормовая и столовая, овес, картофель, яблоня, черешня и малина. У плодовых культур наряду с хлорозным заболеванием листьев отмечается слабая облиственность деревьев, более раннее, чем обычно опадание листьев, а при сильном марганцевом голодании - засыхание и отмирание верхушек веток [1].

Хром. Cr эссенциальный для организма элемент, но в условиях превышения оптимального уровня содержания депонируется в тканях. ПДК Cr не вызывающая токсичного эффекта составляет около 5 мг в сутки. Элемент в виде соединений способствует активизации инсулина в организме, опосредовано индуцирует процессы липогенеза и перехода углеводов и липиды, участвует в поддержании структурного единства молекул нуклеиновых кис-

лот. Cr регулирует деятельность миокарда, контролирует уровень холестерина и артериальное давление [62, 63, 64]. Природными источниками Cr для человека являются проросшие зерна пшеницы, черный перец, зернобобовые, перловка, крабы, устрицы, креветки, яйца, кукурузное масло; овощи - капуста, редис, помидоры; ягоды и фрукты - яблоки, вишня, слива, черника, голубика, клюква, облепиха, рябина; лекарственные растения – гинкго билоба, Melissa, сушеница и др.

Изучение валентных состояний хрома (+2; +3; +6) позволили сделать вывод о канцерогенности Cr +6, в виде анионов хроматов и дихроматов [22]. Cr+6 проявляет токсичность подавляя рост, затормаживая метаболические процессы, оказывает тератогенный, генотоксический, эмбриотоксический эффект. Cr+6 способен вызывать бронхогенный рак, злокачественные образования желудочно-кишечного тракта, дерматиты [5]. Избыточные концентрации в окружающей среде обусловлены в основном техногенными источниками: сжигание угля, сталелитейное производство (хромирование стали), электросварка, текстильное производство, кожевенная промышленность, производство красителей, катализаторов, процессы дегидрогенизации углеводородов.

По данным А.П. Виноградова [65], хром содержится в почве в среднем в количестве – $2 \cdot 10^{-2}$ %, а в растениях – $5 \cdot 10^{-4}$ %. Нормальное содержание хрома в листьях растений равняется 0,1–0,5 мг/кг сухой массы и предположительно максимальное – 2 мг/кг сухой массы. ПДК хрома для растений составляет от 0,1 до 2,0 мг/кг сухой массы. Критическая концентрация металла, выше которой нарастание надземной массы растений снижается на 10 %, варьирует от 1,0 до 2,0 мг/кг сухой массы. Фитотоксическая концентрация хрома (снижение надземной фитомассы на 50 %) равна 100 мг/кг сухой массы [66]. Хром может поступать в растения не только через корневую систему, но и через листья.

Н.В. Прохоровой с соавт. [6] проанализировано распределение хрома наряду с другими тяжелыми металлами в важнейших сельскохозяйственных

культурах в Самарской области, используемых в пищу. Накопление Cr в посевах пшеницы составляет от десятка долей до 50 мг/кг воздушно-сухой массы, во ржи от десятка долей до 40 мг/кг, а в ячмене до 30 мг/кг, подсолнечнике до 65 мг/кг. В посевах гречки на территории Самарской области концентрация хрома варьирует от 3 до 30 мг/кг. Если учесть, что ПДК хрома для растений равна 2 мг/кг, то превышение концентрации этого элемента в сельскохозяйственных растениях может снижать их урожайность. Нетоксичные концентрации хрома могут вызывать некоторую стимуляцию физиологических процессов, в то время как высокие – существенно ингибируют все ростовые процессы. Это проявляется в торможении роста корневой системы растений, снижении сырого и сухого веса, изменении цвета корней, уменьшении количества листьев, площади ассимиляционной поверхности, возникновении хлорозов и некрозов, что приводит к снижению накопления биомассы. Избыток хрома в середе выращивания ингибирует прорастание пыльцы древесных и цветочных растений, приводит к появлению тератоморф. По количеству хрома, который накапливается в растениях, вегетативные органы можно разместить в ряд: корни > листья > семена. Поглощение металла осуществляется как непосредственно корневой системой растений, так и листьями. На этот процесс оказывает влияние концентрация H^+ , содержание органического вещества в почве [67].

1.2 Устойчивость растений к действию тяжелых металлов

Растения являются индикаторами состояния окружающей среды, они накапливают металлы из почвы и воздуха и аккумулируют их в зависимости от характера загрязнения [8]. С растений начинаются многие пищевые цепи, что в конечном итоге может сказаться на здоровье людей. Выделяют следующие аспекты влияния тяжелых металлов на растения: накопление тяжелых металлов растениями, видимые изменения надземных и подземных органов,

нарушение в метаболизме растений, влияние на репродуктивную сферу растения [68].

Согласно классификациям Baker.,1981, Серегина И.В., 2009, Опекуновой М.Г.,2013, по способности аккумулировать тяжелые металлы выделены три группы растений: исключатели – содержат низкое содержание металлов в надземных органах, определяющееся барьерной функцией эндодермы корня; индифферентные – не накапливают металлы в органах и тканях, независимо от их содержания в окружающей среде; аккумуляторы – интенсивно накапливающие тяжелые металлы в надземных органах, как при низком, так и при высоком содержании в почве [69,70,71].

Исследования показали, что различия в содержании тяжелых металлов в сельскохозяйственных культурах определяется их биологическими особенностями. Сравнительный анализ различных групп сельскохозяйственных растений выявил, что максимальная концентрация в целом в растении элементов Cu, Zn, Cd отмечена в растениях пропашной группы (подсолнечник, кукуруза). Бобовые культуры (горох, люцерна, чечевица) активнее аккумулируют Ni, Cr, Pb. Зерновые (озимая рожь, озимая и яровая пшеница, ячмень, овес) обладают наименьшей аккумулирующей способностью. Средневзвешенное содержание тяжелых металлов в растениях пропашной группы на 39,5% выше, чем зерновой и на 6,9% выше, чем в бобовых культурах. [72]).

В исследованиях Ветровой О.Ф.,2015 дана оценка содержания и распределения в растениях земляники садовой Pb,Ni,Zn,Fe,Cu в условиях техногенного загрязнения. Отмечено, что при одновременном поступлении Pb и Ni из почвы и атмосферного воздуха земляника лучше защищена от Ni, а риск накопления Pb в плодах выше. Zn интенсивнее поступает в плоды, а высокое содержание Cu обнаружено в корнях и черешках листьев, минимальное в плодах. Fe накапливается в плодах, а в листьях значения металла минимальное [73].

Процесс поступления тяжелых металлов в растения происходит поэтапно, затрагивая механизмы структурных компонентов растений. Проник-

новение ионов в свободное пространство апопласта может происходить за счет процессов диффузии, обменной и физико-химической адсорбции. После преодоления мембранного барьера происходит проникновение ионов в симпласт и радиальное передвижение по тканям корня и сосудистым проводящим пучкам. В результате поступающие ионы активно включаются в метаболизм. Поступающие ионы способны вертикально передвигаться по стеблям, черешкам и ветвящимся жилкам листьев, проникать в синтезирующие клетки подвергаясь утилизации и реутилизации, оттоку в репродуктивные органы. Ассимиляты и ионы могут транспортироваться вниз по флоэме в корни [74]. Важнейший этап в процессе поглощения растениями ионов тяжелых металлов – преодоление ими структурного барьера - биологической мембраны, при котором происходит сочетание быстрой адсорбции с активным поглощением [75].

Ионы тяжелых металлов передвигаются в тканях корня симпластическим и апопластическим путем, которые могут сменять друг друга.

Внекорневое поступление тяжелых металлов возможно за счет адсорбции листовой поверхностью по безбарьерному типу [76]. На верхней стороне листа наиболее активное поступление наблюдается по жилкам и по его краям, а на нижней – в замыкающих клетками устьиц, околоустьичных клетках, эпидермальных волосках и над антиклинальными стенками клеток эпидермиса.

В исследованиях И.В. Серегина, 2009 ткани растений в зависимости от способности накапливать и транспортировать металлы разделены на шесть групп. К первой группе отнесена поглотительная ткань ризодерма, ко второй выполняющие барьерные функции эндодерма и экзодерма, к третьей группе ткани – аккумуляторы и ткани в которых металл выявляется, но не накапливается (многослойная кора, эпидерма). К четвертой группе принадлежат ткани-коллекторы (перицикл). К пятой группе относятся проводящие ткани – ксилема и флоэма. К шестой группе отнесены ткани-накопители, способные

накапливать металлы в отсутствие ионов конкурентов – ткани апикального участка корня в зонах деления и растяжения, а также корневой чехлик.

Избыточному поступлению тяжелых металлов в растения противостоит система защитных реакций и механизмов. Первый – это корневая система, которая ограничивается избирательной способностью корневого поглощения по отношению к определенным элементам. При передвижении из корней в надземные органы, важная роль принадлежит корневой шейке [70].

Однако физиологические барьеры в корнях не всегда способны защитить растения от поступающих токсикантов. В работу могут включаться и физиологически менее активные органы.

Уменьшению уровня аккумуляции может способствовать их десорбция тканей, которая объясняется метаболическими особенностями растений и свойствами поглощаемых металлов. В исследованиях Чернаской Н.М, 1989 отмечено, что одним из возможных механизмов детоксикации тяжелых металлов может быть изоляция их белками металлотионеинами, но если содержание металла превышает их связывающую способность, то элементы переносятся в металлоферменты и проявляют токсичные свойства. Фактором выживания растительного организма является нахождение металла в металлотионеине или металлоферменте.

Воздействие тяжелых металлов регулируется генетическим аппаратом растений, благодаря которым формируются толерантные генотипы и металлоустойчивые популяции к тому металлу, который находится в среде в избытке. Металлоустойчивость обеспечивается следующими механизмами: связывание в нерастворимые комплексы, складирование в вакуоли или клеточных стенках, выведение в окружающую среду (сбрасывание листьев), вымывание осадками, выделение в воздух, адаптация к металлу за счет перестройки в метаболизме [77].

Таким образом, устойчивость растений к токсическому действию ионов тяжелых металлов зависит от эффективности действия в них взаимосвязанных комплексным процессом механизмов.

1.3 Биологические особенности земляники садовой

Земляника является самой распространенной из возделываемых ягодных культур. Предполагается, что появилась культура в Голландии в результате скрещивания земляники чилийской и земляники виргинской.

По ботаническому происхождению относится царству Растения (Plantae или Vegetabilia), отделу Покрытосеменные (Angiospermae), классу Двудольные (Dicotyledones), порядку Розоцветные (Rosales), семейству Розовые (Rosaceae), роду Земляника (Fragaria), виду земляника садовая (Fragaria ananassa). Название рода *Fragaria* в переводе означает ароматный, благоухающий и включает 50 различных видов земляники и клубники [78].

Земляника является многолетним травянистым растением, неморозостойким, незасухоустойчивым, теневыносливым [79].

Надземная часть растения представлена несколькими короткими стеблями, оканчивающимися почками. На каждом стебле в виде розетки расположены листья на длинных черешках. Лист тройчатый, на конце черешка имеются прилистники. Характерным признаком сорта является форма среднего листа. Она может быть овальной, округлой, ромбической и др. В пазухе верхнего листа розетки имеется точка роста рожка - конус нарастания. В летне-осенний период происходит дифференциация и формируется зачаточное соцветие. На следующий год на рожке развиваются листья, образующие розетку и цветонос. После плодоношения цветоносный побег отмирает и на этом заканчивается поступательный рост рожка, а рост растения продолжается за счет развития из пазушных почек новых рожков, которые в дальнейшем повторяют этот цикл развития [80]. Лист земляники живет в среднем 60 - 70 дней. На одном и том же растении процесс отмирания и образования листьев идет одновременно. Наиболее усиленно он протекает в начале вегетации и после уборки урожая. Во второй период вегетации в пазухах листьев образуются длинные шнуровидные стелющиеся побеги (усы), с укороченными розетками, используемые для размножения. Подземная часть растения земля-

ники состоит из растущих или всасывающих корней (светлой окраски), проводящих и стержневых корней (темной окраски) и корневища. Основная масса всасывающих и стержневых корней размещается на глубине до 30 см и лишь проводящие корни уходят на глубину до 40 см. Рост корней происходит в течение всего вегетационного периода, но наиболее активно они растут весной и сразу после окончания плодоношения. Корневая система земляники мочковатая, каждый новый рожок у своего основания образует мочку придаточных корней, развивающиеся затем в осевые и ветвящиеся корни. Корневая система в условиях поливного хозяйства растет в течение всей вегетации и углубляется до 70 см, основная часть находится на глубине 0—40 см, диаметр отхождения корневой системы определяется 0—20, 0—30 см (рисунок 1).

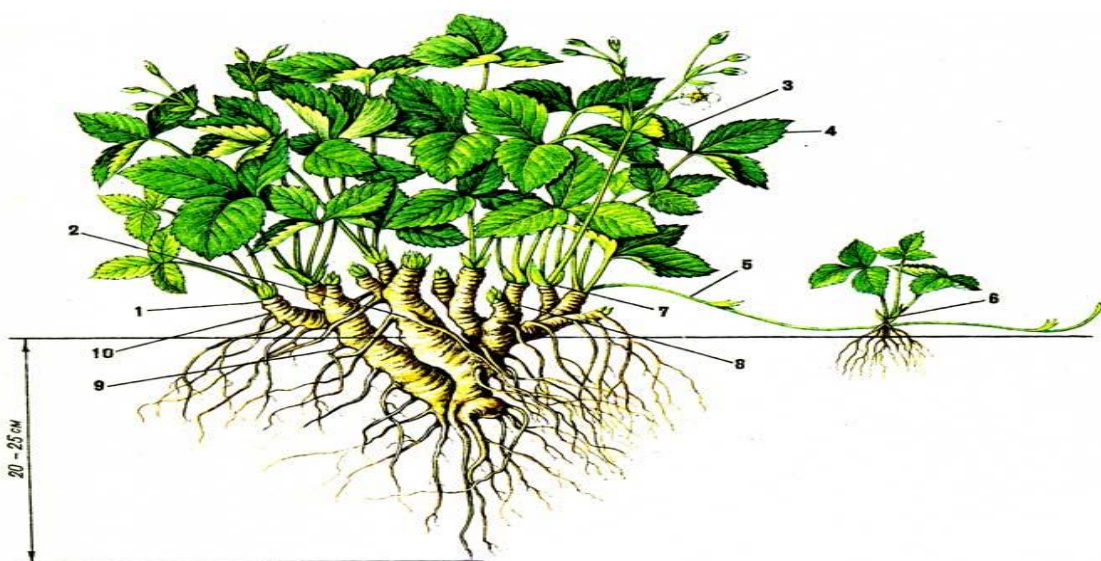


Рис.1. Строение куста земляники:

1 - однолетний рожок; 2 - многолетнее корневище; 3- цветонос; 4 - лист; 5- ус; 6 - розетка; 7- верхушечная почка; 8 - пазушная почка; 9 - боковые корни; 10 - придаточные корни рожка [81].

Цветоносы земляники представляют собой генеративные стебли, завершающие свое развитие образованием плодов. Цветоносный стебель несет соцветие, у которого боковые оси развиваются сильнее основных центральных. Развиваются цветоносы ранней весной из дифференцированных почек.

Каждый цветонос несет на себе соцветие у молодых растений в первый год плодоношения с 3-10 цветками, а у взрослых (на второй и третий годы) - до 20-30 цветков

Цветоносы по отношению к листьям, в зависимости от сорта, располагаются выше или ниже листьев или на одном уровне. Цветок земляники имеет венчик из 5 лепестков. Первые цветки образуют 7-10 лепестков и чашечку с 5 или 10 чашелистиками, 20-30 тычинками от 100 до 400 пестиков. Цветки земляники бывают обоеполые и однополые. Большинство сортов имеют обоеполые цветки с нормально развитыми тычинками и пестиками. Значительно меньше сортов с однополым женским типом цветка. У таких сортов нормально развиты пестики и недоразвиты тычинки. Сорта с подобным типом цветка требуют опылителя. Длительность цветения растений является ценным биологическим свойством растений и приспособлением к неблагоприятным условиям среды. При гибели первых цветков от весенних заморозков сохранившиеся последующие могут обеспечить получение некоторого урожая ягод [80].

Плод земляники - ложная ягода с мелкими орешкообразными сеянками, образующаяся из разросшегося цветоложа. Семянки у одних сортов расположены на поверхности плода и хорошо заметны, а у других слабо или сильно погружены в мякоть.

На рост и плодоношение земляники сильно влияют метеорологические условия. Отсутствие зимой снегового покрова, чередование оттепелей с морозами отрицательно влияют на перезимование и состояние растений. Когда почва оттаивает, затем замерзает, корни растений рвутся и частично оголяются, рожки вымерзают. При таких условиях, например, в Каракалпакской республике земляника на зиму укрывается опилкой, листвой, а при ташкентских - кусты укладываются навозом.

В неблагоприятные годы первым цветкам земляники, дающим крупные ягоды, вредят поздние апрельские заморозки, после чего цветки погибают, или вырастают из завязей уродливые ягоды, а время начала созревания не-

сколько оттягивается. На зимостойкость земляники влияет расположение участка, уход за ней в период вегетации, возраст растений, запас влаги в почве, уплотнение почвы, повреждение листьев вредителями и болезнями [82,83].

1.4 Влияние агротехнических приемов на содержание различных форм тяжелых металлов на урожайность и качество ягодной продукции

Сведения о накоплении тяжелых металлов в органах и тканях многолетних плодовых и ягодных растений незначительны. Влияние мелиорантов и метеоусловий на поступление тяжелых металлов в ягоды смородины черной в 2006-2007 годах исследовали Т.А. Роева и С.Н. Мотылева. Так, в полевом опыте на серой лесной среднесуглинистой почве изучалось влияние извести в дозе 2 т/га и цеолитсодержащей породы в дозах 3-24 т/га на содержание Pb, Ni, Zn, Cu и Fe в ягодах смородины черной. Валовое содержание тяжелых металлов в почве опытного участка превышало фоновый уровень в 2-6 раз, содержание подвижных форм тяжелых металлов было ниже ПДК. Изучение проводилось в контрастные по метеоусловиям годы: 2006 год был влажным, 2007 – засушливым и жарким. Установлено, что поступление тяжелых металлов в ягоды смородины черной зависит от генетических особенностей растений, физиологической значимости элемента для растения, вида и дозы мелиоранта, погодных условий периодов вегетации. Внесение цеолитсодержащей породы не влияло на содержание Pb в ягодах и изменяло содержание Ni, Cu, Zn и Fe. Известкование приводило к увеличению содержания Pb, снижало накопление Cu, Zn и Fe и не влияло на содержание Ni. В засушливый период в ягодах наиболее интенсивно накапливались Ni, Zn и Fe. Содержание Pb и Cu в ягодах было стабильным по годам и не зависело от метеоусловий [84].

Агротехнический способ снизить поступление тяжелых металлов в ягоды смородины черной изучались в полевых опытах М.Н. Кузнецовым, Т.А. Роевой, Е.В. Леоничевой и С.М. Мотылевой (2006). Способ включает

внесение на глубину пахотного слоя природного сорбента. В качестве сорбента используют молотый цеолитсодержащий трепел Хотынецкого месторождения в дозе 3 т/га в смеси с фосфорными и калийными удобрениями, дозы которых определяют по степени обеспеченности почвы фосфором и калием. При этом смесь цеолита с удобрениями вносят однократно при закладке плантации по всей площади поля. После чего поле обрабатывают тяжелыми дисковыми боронами. Азотные удобрения вносят весной следующего года в междурядья под культивацию. Изобретение позволяет уменьшить содержание Ni, Zn, Cu в ягодах на 50-70% и в течение всего периода эксплуатации насаждения получать экологически безопасную продукцию смородины черной на почвах с содержанием тяжелых металлов, превышающим фоновый уровень в 2-6 раз [85].

По результатам исследований тульских ученых Соколовой Т.А., Дроновой Т.Я., Толпешта И.И. разработан способ очистки и рекультивации сельскохозяйственных земель за счет связывания в почве подвижных форм тяжелых металлов и радионуклидов при введении в почву природных сорбентов на основе глинистых минералов (монтмориллонит и палыгорскит) в дозе 2 т/га. Способ эффективен на малопродуктивных, песчаных (супесчаных) сильнозагрязненных почвах. Недостатком этого способа является то, что палыгорскит устойчив в почвах только в условиях щелочной реакции, а в кислой среде (свойственной песчаным и супесчаным почвам) довольно быстро растворяется. Добавление 2 т/га монтмориллонита согласно данному способу составит всего 0,07% от массы пахотного слоя, в то время как почвы тяжелого гранулометрического состава – суглинистые и глинистые – уже содержат минералы монтмориллонитовой группы в количествах: от 1-2% от массы пахотного слоя – в подзолистых почвах, до 15-25% - в черноземах. Следовательно, применение способу существенно не изменит естественную сорбционную способность таких почв. Наиболее близким техническим решением является способ повышения плодородия почвы, заключающийся во внесении

на глубину пахотного слоя органических или минеральных удобрений, цеолита (2-5 т/га) и дополнительно порошка кварца (5-50 т/га) [86].

И.В. Федосова и Ю.М. Злобина (2012) в своей работе изучили распределение микроэлементов (Zn, Cu, Mg, Na, Mn, Hg, Fe) в почве и органах растений щиряцы запрокинутой (обыкновенной), райграсе пастбищном и горце птичьим города Оренбурга. Установлена кумуляция ртути, марганца, железа и меди в растениях, произрастающих на территории, прилегающей к автомобильной дороге города Оренбурга. В отличие от других объектов окружающей среды (воздух, вода), где протекают процессы самоочищения, почва обладает этим свойством в незначительной мере. Для некоторых веществ, в частности для тяжелых металлов почва является кумулятором. Загрязнение атмосферы, почвы и воды в ландшафтах вызывает тревогу, так как оно может заметно снизить продуктивность растений. Авторы выявили, что основными факторами, определяющими содержание микроэлементов в растениях, являются: содержание элемента в почве; относительное количество биодоступной формы элемента в почве; вид растения, фаза развития и распределение элемента по органам; эволюция растений в данных геохимических условиях и адаптация к ним [87].

Особенности накопления свинца и кадмия в плодах смородины черной и рябины обыкновенной в Оренбургской области показаны в работах В. А. Деннер и П.С. Федюниной (2016). Целью исследования стала оценка содержания свинца и кадмия в плодах рябины и смородины, заготовленных на территории Кваркенского района Оренбургской области. Свинец и кадмий не относятся к биогенным элементам и проявляют выраженное токсическое действие. Механизм токсического действия указанных элементов связан с образованием активных форм кислорода: гидроксильного радикала, супероксиданиона, перекиси водорода. В растительных клетках нет ферментных систем, способных к нейтрализации гидроксильного радикала, что повышает роль неферментативного звена антиокислительной защиты. Вторым механизмом токсического действия ионов свинца и кадмия является блокирова-

ние функциональных групп в биомолекулах (в основном сульфгидридных). Растения существенно различаются по способности поглощать и накапливать указанные элементы. Токсическое действие свинца связывают с тем, что ионы свинца образуют с сульфгидридными группами SH-содержащих ферментов устойчивые меркаптиды и таким образом приводят к блокированию ферментных систем. Кадмий легче, чем свинец, поглощается корневой системой и листьями. Кадмий способен ингибировать антиоксидантные ферменты, особенно глутатионредуктазу, вызывая повреждение клеточных мембран и ДНК. Период полувыведения кадмия составляет более 10 лет. При сравнительной оценке показателей содержания тяжелых металлов в плодах рябины обыкновенной и смородины черной выявили, что особенности накопления токсических элементов в плодах смородины черной и рябины обыкновенной зависят от видовых особенностей метаболизма и экологических условий в месте произрастания. Максимальным накоплением кадмия и свинца характеризовались плоды рябины. При этом содержание указанных элементов в образцах сырья, собранных в техногенной зоне, несколько увеличено [88].

В 2013 году Т.В. Астракова и Н.В. Хитова в своих исследованиях основной задачей ставили определение содержания ионов тяжелых металлов в ягодах разных сортов облепихи с целью оценки уровня безопасности по основным регламентируемым ТМ-токсикантам. Особенностью вновь созданных посадок являлось отсутствие внесения какого-либо природного субстрата. Миграция токсических элементов из почв в растительные объекты процесс многофакторный и неоднозначный. Так, в работах были выявлены некоторые закономерности накопления токсических тяжелых металлов в растениях, произрастающих на урбанизированных территориях. Отмечено, что медь, цинк, свинец являются приоритетными загрязняющими веществами почв, уровень аккумуляции, подвижность, неравномерность распределения которых зависит от функционального использования территории. Содержание этих элементов в почвах и растениях зависит от количества органического углерода в почве, наличия подвижных форм фосфатных соединений. Значи-

тельное влияние на миграцию элементов оказывает кислотность почв и другие факторы. Сравнение значений по содержанию меди, цинка и свинца в ягодах облепихи зависит от сорта [89].

Экологический фактор существенно влияет на элементный состав растений и их плодов. Данные, полученные в настоящем исследовании, свидетельствуют о необходимости экологического мониторинга содержания тяжелых металлов в растениях. В работе А. С. Вохмяниной, Е. Н. Дрозд и Ю. Ю. Выставной (Украина, Харьков) показано исследование уровней содержания, процессов миграции и транслокации тяжелых металлов в почвах виноградников Украины. Предмет исследования – химические, солевые характеристики почв, химический состав растительной продукции. Поскольку подавляющее большинство промышленных насаждений многолетних культур размещены в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения, одним из важнейших мероприятий обеспечения их долговечности и производительности является орошение. С его началом изменяются условия функционирования всех слагающих природной среды, в том числе происходят изменения направленности и скорости почвенных процессов в зависимости от качества поливной воды, исходного состояния почвы, режима орошения, климатических условий, культуры земледелия. В орошаемых почвах изменяется ионно-солевой состав почвенного раствора, усиливаются процессы миграции, повышается интенсивность биологического выноса элементов из почв при увеличении урожаев, что влияет на динамику тяжелых металлов в почве и на их транслокацию. Таким образом, поглощение тяжелых металлов виноградными культурами зависит от многих факторов, среди которых следует отметить адаптивные возможности растительного организма, содержание их подвижных форм в почве и оросительной воде, культуру земледелия, использование удобрений и средств защиты растений. Все это в конечном итоге влияет на качество виноградной продукции, обеспечивает ее вкусовые качества и экологическую безопасность[90].

В исследованиях 2010 года Г.Ф. Манторовой, приведен анализ накопления тяжелых металлов в разном направлении и удалении от источника загрязнения в пахотном слое почвы, растительных образцах многолетних трав, плодах ягодных культур; в разных сортах свеклы и картофеля, которые выращены на рекультивированных землях. Повышенный фон тяжелых металлов обычно свойствен тяжелым по гранулометрическому составу почвам (глинистым и тяжелосуглинистым), хорошо гумусированным, пониженный – легким (песчаным и супесчаным). Это различие объясняется тем, что тонкодисперсные минеральные частицы и гумусовое вещество почвы обладают высокой способностью депонировать тяжелые металлы. У растений есть свой естественный защитный барьер для тяжелых металлов. Они проникают в растения ступенчато: корень – проводящий орган – листья – запасающий орган. Наиболее защитным от проникновения тяжелых металлов у растений является орган накопления ассимилянтов – плоды, семена. В их исследованиях больше всего тяжелых металлов накапливалось в вегетативных органах растений. Содержание их в зеленой массе многолетних трав было выше, чем в плодах ягодных культур. Таким образом, проведенные исследования на рекультивированных землях подтвердили предположение, что в засушливые годы и при выращивании культур на богаре есть опасность накопления тяжелых металлов в растениях выше допустимых норм. Поэтому на этих землях необходимо подбирать такие растения и сорта, у которых корневая система располагается в верхнем окультуренном слое почвы, а в пищу использовать органы, менее всего накапливающие тяжелые металлы[91].

Исследование на определение макро- и микроэлементного состава в растении жимолости алтайской методами атомно-абсорбционной и атомно-эмиссионной спектроскопией отражено в работе Г. М. Саяковой, Н. В. Алексеевой-Поповой и А. И. Беляевой [92].

В исследованиях Н. М. Троц, С. В. Ишковой, А. В. Батманова, Д. А. Ахматова в 2012 году был изучен вопрос о влиянии почвенных факторов на обеспеченность основными питательными элементами и содержание тяже-

лых металлов в ягодных растениях. В связи с этим при исследовании влияния экологических факторов на растительные организмы особое внимание заслуживает изучение действия физико-химических и агрохимических свойств почвы на элементный состав ягодных растений. Обследование почвы на содержание тяжелых металлов выявило, что концентрация их подвижных и валовых форм в почве находится ниже норм ПДК и ОДК. С целью оптимизации значений рН и создания благоприятных условий для роста и развития растений земляники необходимо спланировать мероприятия по уменьшению содержания солей в верхнем горизонте почвы и точнее рассчитывать оросительные нормы [93].

В Среднем Поволжье проведены исследования М.И. Антиповой, 2010 по изучению исходных форм земляники для селекции на высокую продуктивность [94]. И.В. Муханин, О.В. Жбанова, А.И. Миляев, И.М. Зуева свои исследования посвятили разработке интенсивных технологий производства ягод земляники, провели их экономический анализ [95,96,97,98,99].

Фоновыми значениями тяжелых металлов в наших исследованиях служили данные, полученные Н.М. Матвеевым, Н.В. Прохоровой, В.А. Павловским в 1998 году при анализе надземной фитомассы *Fragaria vesca* L. (земляника лесная), произрастающей в Самарской области

Таким образом, на настоящий момент сведения о накоплении тяжёлых металлов на региональном уровне ягодными культурами весьма незначительны.

2 Условия и методика проведения научных исследований

2.1 Природно-климатические условия возделывания земляники садовой

Район исследований расположен в Приволжском районе Самарской области в 160 км к юго-востоку от г. Самара. По природно-сельскохозяйственному районированию страны исследуемая территория относится к Заволжской провинции степной зоны. Рельеф представлен аккумуля-

лятивными аллювиальными и аллювиально-озерные плоские нерасчлененные низкие равнины средне- и позднеплейстоценового и голоценового возраста. Геологическая составляющая – пески, супеси, суглинки.

В ландшафте сочетание плоских надпойменных террас р.Волга и крупных внутренних понижений с редкими оврагами и слабо врезанными долинами рек.

Обследованная территория по физико-географическому районированию относится к левобережной части р. Волга, частично занимает вторую надпойменную террасу. Близость Саратовского водохранилища, большое количество водных источников сказалось на микроклимате и привело к значительному развитию наряду со степной, также луговостепной и луговой растительности.

Согласно агроклиматическому районированию территория района относится к III агроклиматическому району, характеризующемуся значительными колебаниями суточных и среднегодовых температур, неустойчивостью и недостатком атмосферных осадков, достатком тепла и света.

Характерными особенностями климата области является преобладание в течение года ясных и малооблачных дней, холодная и малоснежная зима, короткая весна, жаркое и сухое лето, непродолжительная осень, сравнительно большая вероятность весенних и осенних заморозков. Переход среднесуточной температуры воздуха через 0° происходит по всей области в первой декаде апреля.

Почти ежегодно наблюдаются засушливые и суховейные периоды. В теплый период года максимум ветреных дней (больше 15 м/с) приходится на конец апреля начало мая (таблица 2).

Весна начинается в конце марта начале апреля, с частым возвратом холодов, поздними весенними заморозками и снегопадами. Малоснежные зимы сказываются на сохранности растений земляники, приводят вымерзанию. Наиболее благоприятным зимний период был в 2011 году с суммой осадков 37,9 мм. В 2012 и 2013 г.г. этот показатель был 29,5 и 19,8 мм соответствен-

но. В марте месяце средняя месячная температура достигает $-3,2^{\circ}$, а в конце апреле при средней месячной температуре $11,4^{\circ}$ земляника хорошо растет, обильно цветет, и завязываются ягоды.

Вегетационный период продолжается 175...185 дней, период активной вегетации с температурой выше 10°C составляет 150-160 дней. Средняя температура воздуха вегетационного периода $12,3...16,8^{\circ}\text{C}$. Сумма осадков периода вегетации в 2011 году составила 238,4 мм, вследствие дождливой осени. Начало вегетации растений в 2012 году совпадало влажными апрелем и маем, сумма осадков периода была 206 мм. По погодным условиям 2013 год был влажным, сумма осадков вегетационного периода составила 253мм, отличался «сухим» апрелем, что совпало с началом вегетации растений, весна была теплая.

Температурный режим весеннего и летнего периодов вегетации оказывает влияние на сроки и длительность прохождения фенологических фаз. Земляника садовая характеризуется границами периода вегетации от даты схода и появления снежного покрова. Возобновление роста начинается после таяния снега при установлении положительной среднесуточной температуры $+5-8^{\circ}\text{C}$ [100]. Таким образом, температурный режим весеннего периода обуславливает начало вегетации.

Таблица 2 - Климат Приволжского района Самарской области 2011-2013 г.г.
(по данным метеостанции «Безенчукская»)

Показатель	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Всего
2011													
Средний максимум, °С	-11,9	-23,7	-11,9	+9,5	+17,7	+20,6	+25,1	+23,8	+16,9	+9,9	-6,4	-10,8	4,9
Средняя температура, °С	-11,5	-16,8	-6,6	+5,2	+16,4	+18,4	+24,3	+20,4	+14,0	+6,9	-3,5	-7,2	5,0
Средний минимум, °С	-11,1	-9,2	-3,2	+1,3	+14,7	+16,5	+22,6	+17,0	+10,6	+3,9	-1,0	-4,9	6,0
Норма осадков, мм	13,8	7,2	17,0	8,3	12,0	27,0	2,6	15,0	132,5	41,0	6,3	6,0	288,7
2012													
Средний максимум, °С	-17,9	-19,9	-7,8	+16,7	+18,7	+22,6	+24,2	+25,9	+16,3	+10,8	-5,3	-14,5	6,3
Средняя температура, °С	-11,5	-15,9	-5,9	+11,4	+17,1	+21,1	+22,6	+22,1	+14,7	+8,4	-5,3	-7,8	5,9
Средний минимум, °С	-7,1	-9,1	-2,3	+4,1	+14,6	+19,0	+21,3	+18,0	+13,0	+6,0	-2,2	+1,3	6,4
Норма осадков, мм	10,7	8,0	1	12,1	17,6	49,5	19,6	14,8	32,9	59,5	16,0	13,8	265,3
2013													
Средний максимум, °С	-14,9	-11,6	-8,5	+11,0	+19,8	+22,9	+23,4	+22,7	+13,9	+7,7	+7,9	-5,8	7,4
Средняя температура, °С	-10,7	-9,4	-4,7	+8,1	+18,0	+20,8	+21,5	+20,6	+13,1	+6,6	+3,0	-3,8	6,9
Средний минимум, °С	-7,4	-7,3	-2,2	+6,3	+15,0	+18,1	+18,7	+18,7	+9,4	+5,8	-1,5	-2,8	5,9
Норма осадков, мм	15,0	6,1	4,2	1,8	29,8	19,9	20,8	73,3	84,9	22,4	19,5	42,1	339,8

2.2 Характеристика опытного участка, схема опыта и методика исследований

Почва обследованного участка – чернозем обыкновенный остаточнo-луговатый карбонатный слабогумусированный среднемощный среднесуглинистый. По механическому составу преобладают глинистые и тяжелосуглинистые разновидности. По запасам гумуса и основным элементам питания растений обыкновенные черноземы считаются потенциально богатыми. Они имеют самую высокую обеспеченность подвижными формами азота и калия и низкую – фосфора. Основным вопросом плодородия этих почв является улучшение их водного режима.

Большая часть земель производственной плантации занята плодовыми деревьями. Участок работ согласно программе возделывания земляники имеет следующую структуру посевных площадей: земляника – 13,5 га (42%), пар чистый – 4,5 га (14%) и ячмень – 14,0 га (44%).

Для решения поставленных задач исследования проводились в 2003 году, в периоды с 2008-2010 гг. и с 2011-2013 гг на производственных плантациях земляники садовой площадью 13,5 га. (Приложение, рис.43).

В 2003 году на участке было выполнено полевое почвенное обследование. В качестве фонового принято содержание валовых форм тяжелых металлов, установленное ранее для почв Приволжского района Самарской области [101].

В 2008 году были отобраны образцы надземной фитомассы земляники и образцы почвы прикорневой сферы соответствующих растений для выявления причин их различного состояния. В 2009 году был проанализирован химический состав надземной фитомассы земляники и почвенных образцов с ягодной плантации.

В 2010 года были отобраны образцы почв с описываемого участка и проведен их агрохимический и химический анализ. В 2010 были заложены плантации рассадой «фриго» стандарт А (диаметр рожка 8-12 мм). Применя-

лась четырехстрочная система выращивания на мульчирующей пленке с плотностью посадки 80 тыс. растений на гектаре в сочетании с капельным поливом.

В 2011-2013 гг. были заложены пробные площадки на сортовых участках земляники.

Параллельно в 2011-2013 гг. проводился эксперимент по изучению эффективности использования опал-кристобалитовой породы (опоки) в сочетании с минеральными удобрениями на аккумуляцию тяжелых металлов (кадмия, свинца, меди, цинка, марганца, хрома, железа) земляникой садовой сортов Хоней и Эльсанта. Изучение эффективности опоки и ее смеси с минеральными подкормками проводилось в трехкратной повторности по схеме: I-контроль, II-минеральные подкормки «Абиго-Пик», «Феррелин», «Brexil Zn», «Brexil Mn», III- минеральные подкормки «Абиго-Пик», «Феррелин», «Brexil Zn», «Brexil Mn» + опока (Приложение 1). Опока вносилась в количестве 50 кг/га однократно при предпосевной обработке почвы, согласно рекомендациям И.А. Тойгильдиной, 2006, М.С. Бодня, 2011 [102, 103].

Растительные и почвенные образцы для анализа отбирали с использованием общепринятых методов [104]. На каждой пробной площадке в трёх равноудалённых друг от друга точках (вершины равнобедренного треугольника) с помощью саперной лопатки из верхнего (0-10см) горизонта брали почвенные образец массой до 1кг, тщательно перемешивали и методом конверта отбирали среднюю пробу массой до 300-400 г. Все три пробы ссыпали вместе, ещё раз перемешивали и также методом конверта брали смешанный образец весом около 500 г, который помещали в маркированные бумажные пакеты. Аналогичным образом отбирались образцы из среднего (10-20см) и нижнего горизонтов (20-30см).

Растительные образцы отбирали параллельно с почвенными на тех же пробных площадках. Растения выкапывали с корнями из земли в разных достаточно отдалённых друг от друга точках пробной площади. Отбирали по 5-30 и более экземпляров в зависимости от их размера, сразу отделяли корни,

стебли и соцветия, ягоды. Каждую пробу помещали в маркированные пакеты. Маркировка растительных образцов была связана с номером соответствующей пробной площадки. В пакетах почвенные и растительные образцы доставляли в лабораторию ФГУ «Станция агрохимической службы «Самарская», имеющую аттестат аккредитации испытательной лаборатории № РОСС RU. 0001.510565 .

Подготовку образцов почвы и растений для определения валового содержания тяжёлых металлов в них проводили традиционным методом [105]. Надземные части растений освобождали от крупной пыли и частиц почвы. Корни отмывали дистиллированной водой. Почву и взятые для анализа части растений доводили до воздушно - сухого состояния. Затем средний образец почвы растирали в фарфоровой ступке и просеивали через капроновое сито с диаметром отверстий 1 мм, отвешивали 2 г и помещали маркированные пакетики из пергаментной бумаги. Из средних образцов воздушно-сухого растительного материала отбирали, измельчали вручную и взвешивали на аналитических весах с точностью до 3-го знака определенное количество надземной фитомассы (стебли, листья, генеративные органы) и корней растений. Количество воздушно сухого материала, необходимого для анализа, определяли по выходу золы не менее 100 мг зольных веществ. Навеску воздушно-сухого материала озоляли в муфельной печи при температуре +450 - +500⁰С в течение 4-20 часов в зависимости от характера образца [106]. Золу взвешивали на аналитических весах до 3-го знака, растирали в агатовой ступке и помещали в маркированные пакетики, на которых указывали начальную навеску воздушно-сухого материала и вес полученной золы в граммах. В пакетиках подготовленные пробы хранились до анализа.

Определение валовых форм тяжелых металлов в почвах и растительных образцах проводилось с предварительной подготовкой проб методом «сухой» минерализации при 5750С. Подвижные формы соединений извлекались ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8 (ААБ). Этот экстрагент принят агрохимической службой для извлечения доступных растени-

ям микроэлементов. Конечное определение элементов проводили пламенным и электротермическим вариантами с применением атомно- абсорбционного спектрофотометра «Спектр 5 - 4» в пламени ацетилен - воздух. Одновременно проводили холостой анализ, включая все его стадии, кроме взятия пробы почвы. За окончательный результат испытания принимали среднее арифметическое двух параллельных определений.

Помимо содержания тяжелых металлов в почвах определяли

- содержание гумуса по методу И.В.Тюрина в модификации ЦИНАО в соответствии с ГОСТ 26213-91;
- рН солевой суспензии в модификации ЦИНАО в соответствии ГОСТ 26483-83;
- содержание подвижного фосфора и обменного калия в нейтральных почвах по Ф.В. Чирикову (ГОСТ 26204-91), в карбонатных почвах по Б.П Мачигину (ГОСТ 26205-91);
- содержание легкогидролизуемого азота в кислотной (0,5N H₂SO₄) вытяжке по Ю.В. Тюрину и М.М. Кононовой в модификации В.Н.Кудеярова [107];
- содержание тяжелых металлов методом атомно-абсорбционной спектроскопии[108,109,110];
- содержания тяжелых металлов в надземной фитомассе проводили пламенным и электротермическим вариантами атомно-абсорбционной спектроскопии с предварительной подготовкой проб методом «сухой» минерализации [111].

Содержание подвижного фосфора и обменного калия получены разными методами, для сопоставимости полученные результаты лабораторных анализов по Мачигину пересчитаны по методу Чирикова.

В качестве фоновых значений тяжелых металлов использовались значения полученные Н.В. Прохоровой (1998,2000,2006).

Средние значения из повторений и стандартные отклонения вычисляли с помощью программы Excel. Наименьшую существенную разность средних

рассчитывали по Доспехову [112], используя пакет анализа программы Excel. Согласно списку сортов растений Госреестра по состоянию 2017 года по Средневолжскому региону допущено к использованию 13 сортов земляники садовой: Витязь (1999), Вымпел (1965), Заря (1974), Зенга Зенгана (1972), Зенит (1987), Комета (1979), Красавица Загорья (1959), Надежда (1989), Огонек (1979), Русич (2002), Славутич (2006), Сударушка (2000), Фестивальная (1965).

В период с 2011 - 2013 гг нами изучались 3 интродуцированных сорта земляники садовой завезенных в регион, имеющих коммерческую ценность и рекомендованные для производственных испытаний в Самарской области [99]. Контролем урожайности изученных сортов служили рекомендованные для промышленных насаждений районированные для Среднего Поволжья сорта земляники садовой: раннего срока созревания Фея, среднего Фестивальная, позднего Зенга Зенгана [94].

Сорт Эльсанта. Сорт голландской селекции Эльсанта был выведен в 1981 году скрещиванием сортов Горелла и Холидей. Является ведущим промышленным сортом европейских стран и занимает первое место по площадям выращивания и реализации. Сорт включен в Госреестр с 2007 года по Волго-Вятскому (4) Северо-Кавказскому(6), Западно-Сибирскому (10) регионам. В условиях Среднего Поволжья – сорт среднего срока созревания. Куст прямостоячий с хорошей облиственностью, толстыми усам. Листья крупные, вогнутые, опушенные, со средней морщинистостью и ребристостью и округлой средней долей. Зубчики острые широкие. Соцветие многоцветковое, полураскидистое. Плодоножки средние, толстые. Чашелистики простые, средней длины, расположены горизонтально. Ягоды многосемянные, средние, но при хорошем уходе вес достигает 45 г, округло-конической формы, равномерного ярко-красного цвета с блестящей поверхностью. Ягоды содержат 7,2% сахара, 0,78% кислоты, 75,3% витамина С, который сохраняется при заморозке до 60%. Мякоть плотной консистенции, кисло-сладкого вкуса с ярким ароматом. Дегустационная оценка 4,5-4,7 балла. Сорт характеризует-

ся высокой урожайностью, высокими товарными качествами плодов, способностью транспортироваться на дальние расстояния (Приложение 2, рис.1-18).

Сорт Хоней. Сорт включен в Госреестр с 2013 года по Центральному(3), Центрально-Черноземному (5) и Северо-Кавказскому (6) регионам. Сорт был выведен в 1979 году в Америке в городе с одноименным названием. Родоначальниками являются сорта Холидей и Вибрант. Относится к раннеспелым сортам. Куст прямостоячий, хорошо облиственный. Усы средние, листья темно-зеленые, среднморщинистые и среднеребристые, вогнутые, опушенные, тусклые. Черешок средней доли листа длиннее боковых. Цветки обоеполые, большие, белые, нескурченные. Цветоносы средние, толстые, находятся ниже листьев. Соцветие полураскидистое, многоцветковое. Чашечка средняя, опушенная. Ягоды правильной конической формы, темно-красной окраски с шейкой. Мякоть красная, плотная, сочная, кисло-сладкая без аромата. По данным государственного сортоиспытания средняя урожайность составила более 105 ц/га. Масса ягод первого сбора 20,2 г, по остальным сборам – более 16,0 г. Содержание сахара в ягодах 5,7%, кислоты 0,87%, витамина С 67,6 мг/%. Сорт зимостойкий, устойчивый к жаре и засухе (Приложение 3, рис.1-15).

Сорт Мармолада. Сорт итальянской селекции появился в 1989 году скрещиванием сортов Адди и Паджаро, полное название сорта Marmolada Onebog. Сорт рекомендован как перспективный, урожайный, неприхотливый и устойчивый к заболеваниям. В условиях Среднего Поволжья сорт позднего срока созревания. Продуктивность достаточно высокая (до 500 г/раст). Легко переносит транспортировку и сбор. Сорт переносит понижения температуры, устойчив к мучнистой росе, слабо поражается земляничным клещом. Основания черешков листьев и цветоносов поражаются серой гнилью. На карбонатных почвах (рН 7,8 и более) растения хлорозят, не переносят кислых почв – снижает урожайность.

Куст компактный, прямостоячий, высотой 28 – 35 см, дает много усов. Листья крупные, темно-зеленого цвета. Цветоносы толстые удлиненные,

расположены на уровне или выше уровня листьев. Соцветия компактные, многоцветковые. Ягоды крупные, правильной конусообразной формы с заостренной верхушкой, без шейки, светло-красного цвета, равномерно окрашенные, с блеском. Масса первых ягод – 45 – 55г, а по всем сборам средняя масса – 15 – 20г. Мякоть плотная, красного цвета с хорошим ароматом, кисло-сладким вкусом (Приложение 4, рис.1-18).

В системе питания земляники применяются препараты, вносимые листовой подкормкой и фертигацией (таблица 3).

Райкат развитие. В составе препарата свободные (активные) аминокислоты - 4%; свободные (активные) аминокислоты - 4%; экстракты морских водорослей - 5%; цитокинин - 0,05%; комплекс витаминов - 0,2%; всего азота (N) - 6%; фосфора (P₂O₅) - 4%; калия (K₂O) - 3%; железо (Fe) хелатное - 0,1%; марганец (Mn) хелатный - 0,07%; цинк (Zn) хелатный - 0,02%; медь (Cu) хелатная - 0,01%; бор (B) - 0,03%; молибден (Mo) - 0,01%.

Стимулятор роста растений на средних фазах развития растений от бутонизации до созревания. Специальный продукт для улучшения стадии развития растений и роста новых тканей растений. Листовые подкормки – 75-125мл/100л воды. Капельный полив 1-4литра/га. Применяется на всех полевых, овощных, плодовых и декоративных культурах, а также цветах.

Райкат финал. Содержит свободные (активные) аминокислоты - 4%; сахараиды – 15%; комплекс витаминов – 0,1%; всего азота (N) -3%; калия (K₂O)-6%; железо(Fe) хелатное - 0,1%; марганец (Mn) хелатный - 0,07%; цинк (Zn) хелатный - 0,02%; молибден (Mo) – 0,01%. Стимулятор роста плодов (зерновок, бутонов цветов и т д.) на завершающих стадиях развития растений в фазы от начала образования плодов до полного созревания (не позднее, чем за 7 дней до уборки). Увеличивает размер плодов, повышает содержание сахаров, витаминов и сухих веществ. Улучшает семенные качества семян на семенных посевах. Листовые подкормки - 75125мл/100л воды. Капельный полив 2-3литр/га. Применяется на всех полевых, овощных, плодовых и декоративных культурах, а также цветах.

Таблица 3 - Схема питания земляники садовой

Стадия развития	Способ внесения	Минеральное удобрение	Расход, г/л, кг/га
3-4 настоящих листьев	Фертигация	Аммиачная селитра	10,0
		Биостим Старт	5,0
		Брексил Fe	5,0
		Сульфат магния	5,0
	Листовая подкормка	Келик-Микс	0,5
Начало образования цветоносов	Фертигация	Сульфат магния	5,0
	Листовая подкормка	Райкат развитие	0,6
Массовое появление цветоносов	Фертигация	Аммиачная селитра	10,0
	Листовая подкормка	Келик-Микс	0,5
		Ультрамаг Бор	1,0
Начало цветения	-	-	
Массовое цветение	-	-	
Рост и созревание ягоды	Фертигация	Кальциевая селитра	5,0
		(6-10 день)	Кальциевая селитра
	Листовая подкормка (6-10 день)	Келик - К	2,0
		Райкат финал	0,5
Плодоношение	Фертигация	Кальциевая селитра	10,0
Скашивание 3-4 настоящих листьев	Фертигация	Аммиачная селитра	5,0
Веgetация	Фертигация	Аммиачная селитра	10,0
	Листовая подкормка	Ультрамаг Zn (14-15 день)	0,5
		Ультрамаг бор	0,5
		Ультрамаг Zn (через месяц)	0,5

Келик-К (50% EDTA, хелат калия). В составе минеральной жидкости калий (K₂O) хелатный - 50%, хелатирующий агент EDTA – 4,5%. Корректор дефицита калия в жидком виде. Может использоваться во всех типах систем капельного орошения или посредством листовых подкормок. Повышает качество плодов, улучшая их вызревание.

Келик-Микс. Содержит хелатное (Fe) железо-5%, хелатный (Mn) марганец - 2%, хелатный (Zn) цинк - 0,37%, хелатная (Cu) - 0,19%, (B) бор - 0,65%, (Mo) молибден - 0,18%, хелатирующий агент: EDTA. Эффективный корректор комбинированного дефицита микроэлементов в жидкой форме. Может использоваться во всех типах систем капельного орошения или посредством листовых подкормок.

Биостим Старт. Жидкое удобрение. В составе препарата свободные аминокислоты - 5,5%, полисахариды - 7,0%, азот - 4,5% фосфор(P_2O_5) – 5,0%, калий (K_2O), магний - 1%, железо – 0,2%, марганец – 0,2%, цинк – 0,2%, медь -0,1%, бор – 0,1%, молибден -0,01%. Предпосевная обработка семян препаратом Биостим Старт обеспечивает высокий процент полевой всхожести. Полисахариды, входящие в состав препарата, ускоряют набухание семян, являются дополнительным источником энергии и стимулятором развития полезной микрофлоры в ризосфере. Препарат предназначен для предпосевной обработки семян зерновых, зернобобовых, технических, масличных овощных, цветочно-декоративных культур, предпосадочной обработки клубней картофеля, а также для корневых подкормок при выращивании и пересадке рассады (саженцев), корневых подкормок ягодных культур, плодовых деревьев, виноградников, декоративных деревьев и кустарников.

Брексил Fe (Brexil Fe). Содержит 10,0 % Fe, а также ряд отдельных мезо- и микроэлементов и их концентрированных соединений, в инновационном хелатном комплексе LSA (лигнинсульфонат аммония), специально разработанный для предотвращения и лечения хлорозов с помощью листовых подкормок.

Ультрамаг Хелат Zn-15 КРП. Кристаллическое, полностью растворимое в воде удобрение для листовой и почвенной подкормок сельскохозяйственных и огородных растений, тепличных культур. Содержит 15% цинка от массы. Применяется для решения проблемы дефицита цинка в растении, при котором наблюдаются пожелтение листьев; задержка роста междоузлий; появление хлороза и развитие розеточности Способствует метаболизму угле-

водов, фосфатов и протеинов; образование ауксинов, ДНК, рибосом.

Ультрамаг Бор ВК, ВПК. Жидкое удобрение, содержащее 150 г/л бора в легкоусвояемой форме (борэтаноламин) и 50 г/л азота. Рекомендуется при выращивании растений, особо нуждающихся в больших количествах бора в доступной форме для быстрой ликвидации его дефицита. увеличивает урожайность; повышает качественные показатели продукции; защищает от болезней (гниль сердечка на свекле); участвует в транспортировке углеводов из листьев; улучшает усвоение других питательных веществ.

Вначале мая производится первая листовая подкормка растений. Всего за период вегетации предусмотрено пять листовых подкормок с интервалом 10,20,20,30 дней после первой. На следующий день после листовой подкормки растения опрыскиваются, при дальнейшем развитии опрыскивание происходит семь раз: три через 10 дней, три через двадцать дней. За опрыскиванием следует фертигация растений земляники за счет капельного орошения плантаций. Минеральные подкормки фертигацией производятся 10 раз в течение вегетации: вначале развития через десять, затем через двадцать дней. Полив растений производится через каждые двадцать дней. Агротехническим мероприятием является ежемесячная прополка плантаций. В октябре осуществляется удаление усов у растений. Операции повторяются каждые три года, затем происходит раскорчевка плантаций и посадка новой рассады, урожай с которой снимается только через год. Для производимых операций используются универсальный пропашной колесный трактор МТЗ-80 и садовый опрыскиватель ОВС-2000 с методом поверхностного опрыскивания с использованием воздушного потока, предназначенный для работы со всеми разрешенными в сельском хозяйстве растворами, эмульсиями и суспензиями.

3 Особенности накопления тяжелых металлов в почвах и растениях производственных плантаций земляники садовой

3.1 Агрохимические показатели почв производственных плантаций сортовых участков земляники садовой

При оптимальном балансе питательных веществ в почве можно добиться урожайности земляники от 12 до 20 т/га [113,114]. Растения земляники имеют мощную корневую систему, располагающуюся в верхнем слое почвы. Вынос питательных веществ земляникой высокий. Исследователями отмечено, что при урожае 90ц вынос составляет с 1 га 140 кг азота, 40 кг фосфора и 170 кг калия. При этом азот используется на протяжении всего периода вегетации равномерно, а фосфор и калий интенсивно (до 40%) в период формирования и созревания ягод [115,116,117].

По количеству выноса преобладают азот и калий, поэтому велико их влияние на урожайность. Фосфор оказывает меньшее влияние на урожайность и выносятся из почвы земляникой менее интенсивно, чем азот и калий [118]. Оптимальное соотношение фосфора и калия в почве, соответствующее биологическим требованиям земляники и способствующее увеличению урожайности – 1:3.

На исследуемых участках возделывание земляники началось с 2007 года, до начала возделывания более 5 лет поле находилось под черным паром. Почва под участками возделывания земляники садовой - чернозем обыкновенный остаточно-луговатый карбонатный слабогумусированный среднесильный среднесуглинистый. По результатам обследования почвы, применению коэффициентов использования и усвоения питательных веществ расчетные дозы составили $N_{60}P_{80}K_{120}$.

Обследование верхнего пахотного горизонта почвы корневой сферы земляники выявило изменения в составе и неравномерное распределение питательных элементов (таблица 4)

Таблица 4 - Агрохимические показатели почв участков возделывания
земляники садовой

Год исследования	рН (KCl)	Гумус , %	Содержание подвижных форм, мг/кг		NO ₃ ⁻ (нитратный азот), мг\кг
			P ₂ O ₅	K ₂ O	
2003	7,1	3,9	175	51	-
2008	6,6	3,6	288	256	25,7
2009	7,5	2,5	26,9	331	34,2
2010	7,3	2,2	21,2	223	42,0
2011	6,9	3,5	212,5	161	12,6
2012	6,8	3,8	143,0	182	25,7
2013	6,8	2,9	248,5	185	26,9
Оптимальное значение	5,6 – 6,5	7 - 8	100 - 150	150 - 200	30 - 60

Наиболее динамичным показателем в пахотном слое является содержание гумуса – основного показателя плодородия почв (рисунок 2).

Изначально в 2003 г. содержание гумуса в верхнем слое почвы участка составляло 3,9%, ниже рекомендуемого в 2 раза. Это существенно ниже фоновое значение для южной зоны Самарской области.

За период 2003-2013 гг. произошло понижение содержания гумуса в пахотном слое до 2,9 %, что составляет ежегодную потерю гумуса 0,2%. Это свидетельствует об интенсивном выносе питательных веществ почвы растениями земляники без должного восполнения потерь путем внесения органических удобрений.

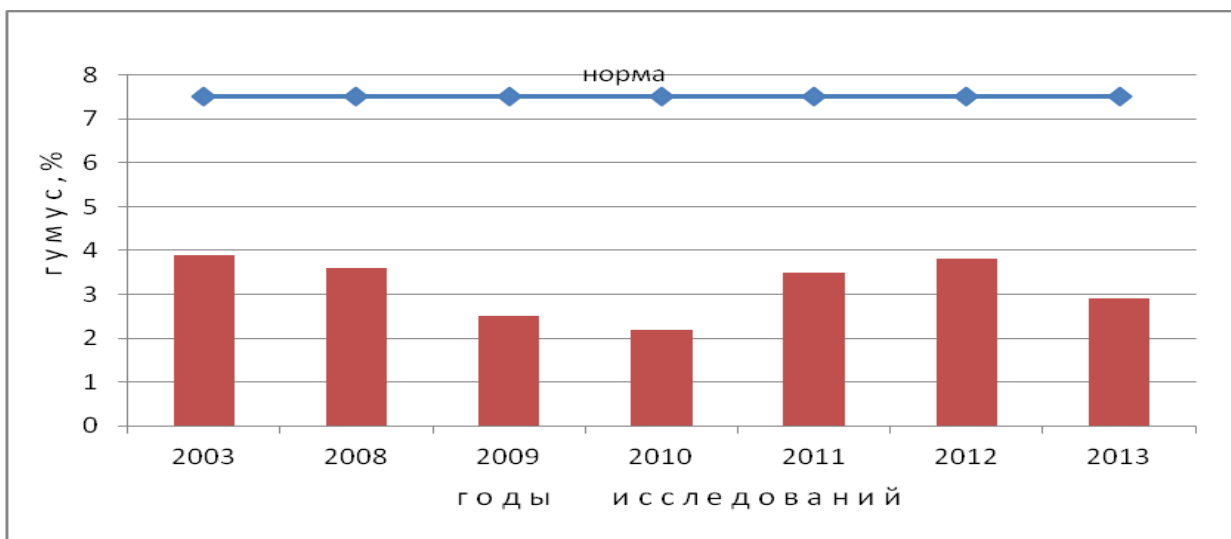


Рис.2. Содержание гумуса в почвах на участках под земляникой садовой

Анализы реакции среды почвенного раствора (рН) показали, что параметры в 2003 г находились в пределах 7,1 - 7,5, в 2009- 2010 г. рН на участках (70%) оказалась близка к нейтральным индексам - 6,6, а на остальной части территории (30%) сдвинута в слабощелочную сторону - 7,8, что является неблагоприятным фактором для роста и развития земляники и влияет на снижение урожая (рисунок 3). Проведенный агрохимический анализ почвы в 2011-2013 гг исследуемого участка показал что рН почвенной вытяжки находится в пределах 6,8, что незначительно выше оптимального значения для растений земляники. Очевидно, данные изменения связаны с особенностью режима орошения и частичным подъемом грунтовых вод.



Рис. 3. Показатель рН почвенного раствора на участках под земляникой садовой

За исследуемый период уменьшилось содержание подвижного фосфора в 8,3 раза (со 175 до 21,2 мг/кг почвы в 2010 г) в 2011 года значение подвижного фосфора превышало норму в 1,4 раза, в 2012 году показатели соответствовали норме, а в 2013 превышение составило 1,7 раза (рисунок 4). Причиной может быть неподвижность элемента в почве, а также низкое значение азота, без которого действие фосфора ограничивается.



Рис. 4. Содержание подвижного фосфора в почвах на участках под земляникой садовой.

Значения обменного калия увеличилось в 5,0 раза и было выше нормы до 2011 года (рисунок 5).

При дальнейших исследованиях выявлены оптимальные показатели обменного калия, что положительно сказывается на вегетации растений.



Рис. 5. Содержание обменного калия в почвах на участках под земляникой садовой

С 2011 года произошло снижение содержания азота в почве под растениями земляники в 2,4 раза в сравнении с оптимальными значениями (рисунок б). Недостаток азота связан, по-видимому, с проведенным с осени мульчированием плантации мелкой соломой. Известно, что мульчирование ведет к недостатку азота в почве, так как разлагающие органическую мульчу бактерии потребляют много азота и растения земляники при этом испытывают его недостаток. Для земляники недостаток азота может отразиться на слабом образовании усов, покраснении и раннем пожелтении листьев [73].



Рис. 6. Содержание легкогидролизуемого азота в почвах на участках под земляникой садовой

В почве обследуемого участка относительно благоприятно для растений содержание элементов питания было в 2012 году.

Полученные результаты за период исследования свидетельствуют о несбалансированном внесении минеральных удобрений и одностороннем изменении запаса элементов питания в почве.

3.2 Содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почве производственных сортовых участков земляники садовой

Обследование почвы на содержание ТМ выявило, что концентрация их подвижных и валовых форм в почве находится ниже норм ПДК и ОДК (таб-

лица 5). За период с 2003 по 2010 г. содержание в пахотном слое почвы валовых форм ТМ изменилось следующим образом: концентрация Mn увеличилась в 1,1 раза, Cu, Zn, Cd, Pb – снизилась в 1,1; 1,2; 3,3; 1,3 раза соответственно. Так, суммарный показатель загрязнения почвы Zс на 2003 год равен 2,34, на 2010 год – 1,14; т.е. снизился в 2,1 раза. Снижение уровня валовых форм можно объяснить переводом их в подвижные формы, вымыванием при орошении в нижележащие горизонты, поглощением растениями.

Таблица 5 - Содержание валовых форм тяжелых металлов в почвах, мг/кг

Почва	Элементы						
	Cd	Pb	Cu	Zn	Mn	Fe	Cr
<i>под производственными плантациями</i>							
2003 г	0,660	10,3	14,0	41,4	440,0	-	-
2010 г	0,200	7,7	13,2	34,2	466,0	-	-
<i>под сортами 2011-2013 гг.</i>							
Хоней	0,309	9,92	16,5	36,1	329,0	16413	8,97
Мармолада	0,289	10,20	17,1	36,2	353,0	15739	9,96
Эльсанта	0,229	9,50	14,7	35,7	342,5	14953	11,25
ФОН	0,295	9,13	16,3	35,1	343,0	14807	10,60
ПДК	2,000	130	132	220	1500	-	100

Наблюдаются некоторые превышения фоновых значений на участке возделывания сорта Хоней: меди в 1,01 раза, цинка в 1,03 раза, железа 1,11 раз. Почва под сортом Эльсанта содержит повышенное количество железа и хрома, превышающих ФОН в 1,01 и 1,12 раз соответственно. В почве под сортом Мармолада выявлено превышение фонового значения по свинцу в 1,11 раза, по меди в 1,04 раза, по цинку в 1,03 раза, по марганцу в 1,03 раза, по железу в 1,06 раза. В средних показателях исследуемых плантаций обнаруживается превышение по содержанию железа 1,06 раза по сравнению с ФОНом. С целью оценки изменения распределения ТМ по почвенному про-

филю были пройдены шурфы до 150 см. При анализе распределения тяжелых металлов в почвенном профиле (таблица 6) участка превышение ПДК не выявлено. Максимальные превышения фоновых концентраций выявлены в почвенных горизонтах: кадмий (120-150 см) в 1,38 раза, свинец (90-120 см) в 1,06 раза, медь (0-30 см) в 1,03 раза, цинк (30-60 см) в 1,02 раза, марганец (0-30 см) в 1,04 раза, железо (0-30 см) в 1,22 раза, хром (0-30 см) в 1,19 раза.

Таблица 6 - Содержание валовых форм тяжелых металлов в почвенных горизонтах, мг/кг

Глубина отбора, см	Тяжелые металлы						
	Cd	Pb	Cu	Zn	Mn	Fe	Cr
0-30	0,313	10,9	15,3	36,1	405	20496	13,6
30-60	0,328	11,0	12,9	36,5	378	15378	9,47
60-90	0,318	10,3	11,6	35,3	362	17304	14,5
90-120	0,395	12,3	9,77	33,4	368	13069	9,27
120-150	0,425	12,9	10,1	33,5	356	11745	7,96
Среднее	0,356	11,5	11,9	35,0	373,8	15598,4	11,0
ФОН	0,308	11,6	14,8	35,7	403	16756	11,4
ПДК	2,0	130	132	220	1500	-	100

По приведенным данным можно заключить, что активно мигрируют в нижележащие слои валовые формы кадмия и свинца, а накопление меди, цинка, марганца, железа и хрома происходит в верхнем пахотном горизонте почвы. Между тем известно, что корневая система земляники находится в слое 0-20 см, и растение потребляет минеральные вещества именно с этого горизонта [73].

Валовые значения характеризуют общую загрязненность почвы, но не отражают степень доступности элементов для растений. Для характеристики почвенного питания используется только их подвижная форма [101].

В наших исследованиях подвижная часть элементов извлекалась ацетатно-аммонийным буфером с рН 4,8. Известно, что в этой вытяжке в подвижную форму переходит наиболее мобильная часть запасов ТМ в почве. Процент подвижности изученных элементов составил: кадмий - 18,1%, свинец - 4,44%, медь - 1,05%, цинк – 11,65%, марганец – 11,65%, хром - 1,2%.

В целом, содержание подвижных форм ТМ в почвах участка находится в пределах норм ПДК (таблица 7).

Таблица 7 - Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах, мг/кг
(экстрагент ацетатно-аммонийный буфер с рН 4,8)

Почва	Элементы					
	Cd	Pb	Cu	Zn	Mn	Fe
<i>под производственными плантациями</i>						
2010	0,05	0,43	0,21	0,20	13,4	-
2009	-	-	0,15	1,05	9,5	-
2008	0,27	2,8	0,15	0,34	16,2	-
<i>под сортами 2011-2013 гг</i>						
Хоней	0,037	0,39	0,19	0,55	42,1	0,12
Мармолада	0,059	0,31	0,17	0,60	39,5	0,14
Эльсанта	0,054	0,61	0,16	0,79	37,8	0,10
ФОН	0,037	0,43	0,13	0,40	35,0	0,09
ПДК	-	6,0	3,0	23,0	100,0	6,0

Анализ данных за 2008-2010 гг. содержания подвижных форм Pb, Cd, Zn, Mn показал, что их концентрация в верхнем слое почвы уменьшилась, соответственно, в 5,4;6,7;1,7;1,2 раза. Увеличились значения Cu в 1,4 раза. В период 2011-2013 гг произошло повышение в почвах Mn в среднем в 2,5 раза, Zn в 1,9 раза, концентрации других изученных металлов изменялись незначительно. Высокие значения марганца объясняются переходом валовых форм в подвижные.

Накопление элементов в сравнении с фоновыми значениями представляется коэффициентами концентрации (K_k), которые рассчитывались по формуле: $K_k = K_c / K_f$, где K_c – среднее содержание в почве участка, K_f – фоновое значение. В этих значениях ТМ образуют следующий убывающий ряд:

$$\text{Zn (1.62)} < \text{Cd (1.35)} < \text{Cr (1.33)} < \text{Cu (1.30)} < \text{Mn (1.14)} < \text{Pb (1.02)}$$

Максимальное превышение в сравнении с фоновым значением наблюдается в содержании свинца на участке под сортом Эльсанта ($K_c = 1,38$).

Подвижность элементов на участках, используемых для возделывания различных сортов земляники равномерна. По интенсивности поступления элементов в растение (I_a) изученные элементы образуют следующий убывающий ряд:

$$\text{Cu (135.6)} < \text{Zn (53.8)} < \text{Cr (4.50)} < \text{Mn (2.48)} < \text{Pb (1.22)} < \text{Cd (1.00)}.$$

При практически одинаковой подвижности создались условия для сравнения интенсивностей поступления элементов в изученные сорта земляники. По суммарному накоплению тяжелых металлов изученные сорта располагаются убывающим рядом:

$$\text{Сорт Мармолада (258,0)} > \text{сорт Хоней (209,10)} > \text{сорт Эльсанта (128,84)}.$$

Видимо, растения сорта Эльсанта обладают физиологическими особенностями, позволяющими создавать естественные барьеры для поступления токсикантов.

Миграция подвижных форм ТМ по почвенному горизонту (таблица 8) показывает, что максимальная концентрации Cd, Pb, Cu, Mn, обнаруживаются в нижних слоях (120-150 см).

Содержание цинка наиболее высокое в верхнем пахотном горизонте почвы, присутствует его мобильность в нижние слои. Особенностью поведения хрома в почвенном профиле является отсутствие миграции в нижние горизонты и высокая аккумуляция в пахотном слое почвы.

Подвижность хрома при поступлении невысокая. Можно предположить, что с течением времени будет происходить его накопление в верхнем

горизонте почвы. Высокая подвижность элементов обусловлена применяемым на участке капельным орошением.

Таблица 8 - Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвенных горизонтах орошаемых участков, мг/кг

Глубина отбора, см	Элементы					
	Кадмий	Свинец	Медь	Цинк	Марганец	Хром
0-30	0,048	0,49	0,15	0,32	25,8	0,23
30-60	0,038	0,30	0,14	0,22	13,6	0,48
60-90	0,046	0,46	0,13	0,13	6,25	0,17
90-120	0,067	0,65	0,40	0,16	21,6	0,09
120-150	0,055	0,71	0,72	0,24	28,3	н\обн
ФОН	0,037	0,43	0,13	0,40	35,0	0,09
ПДК		6,0	3,0	23,0	100,0	6,0

Анализ поливной воды показал (таблица 9), что дополнительное внесение возможно по свинцу (1,4 ПДК) и железу (1,5 ПДК). Остальные изученные элементы в поливной воде находятся в пределах допустимых норм.

Таблица 9 - Содержание тяжелых металлов в поливной воде, мг/дм³

Кадмий	Свинец	Медь	Цинк	Марганец	Железо	Хром
0,0006	0,014	0,006	0,228	0,016	0,443	0,097
ПДК						
0,001	0,01	1,0	1,0	1500	0,3	0,5

3.3 Сортвые особенности аккумуляция тяжелых металлов в растениях земляники садовой

Исследования растительных образцов земляники, отобранных в 2008 г. выявили, что концентрация Zn и Cd в надземной фитомассе земляники ниже критической в 3,4 и 340,9 раза соответственно, а содержание Pb и Cu ниже фонового уровня по Самарской области в 2,2 и 2,6 раза (таблица 10). Содержание Mn и Fe в растительных образцах 2008 г. значительно превышало фоновое значение (в 97,5 и 15,2 раза) и фитотоксические индексы. На плантациях обнаруживались растения, которые заметно отставали в развитии.

Средняя концентрация в надземной фитомассе всех изученных тяжелых металлов в образцах больных растений по сравнению со здоровыми выше: Fe - 1,5 раза, Pb - 1,3 раза, Zn - 1,4 раза, Cu - 1,2 раза, Cd - 1,1 раза; и Mn ниже в 1,2 раза.

Таблица 10 - Содержание тяжелых металлов в надземной фитомассе земляники (фазы – цветения-плодоношения)

Год обследования	Элементы, мг/кг					
	Mn	Fe	Pb	Zn	Cu	Cd
2008*	<u>5040</u>	<u>4140</u>	<u>0,11</u>	<u>42,0</u>	<u>8,73</u>	<u>0,021</u>
	4070	6071	0,14	60,7	10,08	0,023
2009	249,8	199,7	-	28,3	4,87	-
Среднее содержание ТМ в надземной фитомассе <i>Fragaria vesca</i> L. (земляника лесная), произрастающих в Самарской области [6]	46,73	336,44	0,28	21,38	24,50	-
Критическая концентрация ТМ в воздушно-сухой фитомассе [119]	-	-	10-20	150-200	15-20	5-10
Фитотоксическая концентрация ТМ в воздушно-сухой фитомассе [119]	500	-	60	400	20	100

* в числителе – показатели по здоровым растениям, в знаменателе – по больным.

За период между обследованиями 2008-2009 гг. содержание в надземной фитомассе земляники Zn, Cu, Mn и Fe снизилось в 18,2; 25,6; 1,8 и 1,9 раза соответственно, что предположительно связано с поглощением этих эле-

ментов растениями предыдущих генераций, внесением минеральной подкормки, способствующей связыванию элементов. Так, в образцах растений, выращенных в 2009 г., содержание Mn превышает фоновое в 5,3 раза, но не достигает фитотоксического значения (в 2,0 раза ниже), Fe и Cu - ниже фоновых показателей в 1,7 и 5,0 раз, а Zn – выше фонового показателя в 1,3 раза. На основании полученных данных (таблица 11) рассчитаны коэффициенты биоаккумуляции подвижных элементов больными и здоровыми растениями земляники по формуле $I_a = I_x / n_x$, где I_x – содержание элементов в золе растений, n_x – содержание элементов в почве. Среднее значение коэффициента биоаккумуляции тяжелых металлов уменьшается в ряду

$Mn > Zn > Cu > Cd > Pb$, минеральных элементов – $N > K > P$.

Для кадмия и свинца коэффициенты биоаккумуляции меньше 1, что означает их слабое поглощение из почвы.

Таблица 11 - Коэффициент биоаккумуляции (I_a) элементов в почве и надземной фитомассе земляники

Год	Элементы							
	N	P	K	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb
2008*	<u>762,65</u>	<u>14,58</u>	<u>87,50</u>	<u>311,11</u>	<u>58,20</u>	<u>123,53</u>	<u>0,08</u>	<u>0,04</u>
	761,68	44,12	40,00	248,17	59,29	173,43	0,09	0,05
2009	663,74	107,81	61,03	26,29	32,47	26,95	-	-

* в числителе – показатели по здоровым растениями, в знаменателе – под больными

Результаты исследований 2011-2013 г.г. показали, что в сравнении с ФОНом накопление изученных ТМ характеризуется зависимостью (коэффициент концентрации): $Mn (30.3) < Pb (2.13) < Cu (1.49) < Zn (1.93) < Fe (0.55)$

Коэффициент опасности элементов представляется следующим убывающим рядом: $Cr (3.1) < Fe (2.0) < Cu (0.71) < Pb (0.60) < Zn (0.49) < Cd (0.32)$.

Концентрирование ТМ в землянике садовой зависит от сорта и органа растения (таблица 12). Органы растений земляники накапливают тяжелые металлы в соответствии со следующим убывающим рядом:

корни (1175,9) > листья (443,2) > ягоды (87,7).

Максимальные концентрации обнаруживаются в корнях и листьях растений, минимальные в ягодах. Наиболее важным и являются показатели содержания ТМ в ягодах изученных сортов, так как возделывание растения направлено именно на получение именно этой продукции.

Таблица 12 - Содержание тяжелых металлов в растениях земляники садовой, мг/кг на сухое вещество, 2011-2013 г.г.

Сорт	Элементы						
	Cd	Pb	Cu	Zn	Mn	Fe	Cr
Корень							
Хоней	0,093	1,20	35,9	54,8	136,9	1101,5	0,71
Мармолада	0,080	0,96	81,9	83,3	176,8	1092,0	0,56
Эльсанта	0,035	0,56	23,0	37,4	83,5	615,9	0,66
Кс	2,30	3,20	1,90	2,73	2,83	0,39	3,2
Листья							
Хоней	0,052	0,31	40,2	35,1	209,4	197,8	0,47
Мармолада	0,024	0,29	18,8	17,7	118,8	364,4	0,46
Эльсанта	0,023	0,30	21,4	20,5	125,4	157,9	0,25
Фоновое значение	-	0,28	24,5	21,38	46,73	336,44	-
Кс	1,11	1,07	1,09	1,14	3,23	0,71	1,95

В ягодах изученных сортов содержание Cd, Zn, Cu, Mn, не превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК) (таблица 13). Это связано с защитными функциями растений по отношению к своим генеративным органам.

На уровне ПДК находится концентрация свинца в ягодах сорта Мармолада, тогда как в ягодах сортов Хоней и Эльсанта значения Pb ниже ПДК в 3,0 и 2,4 раза соответственно. Ягоды сорта Мармолада характеризуются по-

вышенным содержанием Fe, превышающим уровень допустимой нормы в 1,4 раза.

Вероятно повышенное накопление элементов, подвижность которых возрастает с наступлением высоких температур, связано со сроками развития растений изученных сортов.

В ягодах изученных сортов отмечается повышенное содержание хрома, превышающее ПДК: сорт Хоней в 2,7 раза, Мармолада в 3,8 раза, Эльсанта в 2,8 раза. Высокие региональные значения элемента в важнейших сельскохозяйственных культурах отмечены в работах Н.В. Прохоровой с соавт.[101].

Для хрома характерна способность аккумулироваться в верхних горизонтах почвы, а корневая система земляники не уходит глубоко в почву и растение поглощает питательные элементы с этих горизонтов.

Определив средние концентрации ТМ в растениях, мы отметили превышение концентрации в плодоножках ягод земляники биогенных элементов: Cu – в 2,13 раза, Zn – в 4 раза, Mn – в 6,9 раз, Fe – в 1,8 раза. Концентрация меди и цинка в плодоножках превышает ПДК в 1,5 и 2,0 раза соответственно.

По значениям в изученных сортах растений элементы образуют следующие убывающие ряды (мг/кг):

Сорт Хоней: Cu (140.58) > Zn (58.2) > Cr(4.78) > Mn (3.0) > Pb, Cd (1.4)

Сорт Мармолада: Cu (204.8) > Zn (59.6) > Cr(4.2) > Mn (2.6) > Pb (1.8) > Cd (0.7)

Сорт Эльсанта: Cu (200.0) > Zn (26.8) > Cr (4.9) > Mn (2.1) > Pb (0.6) > Cd (0.5)

Как показывают расчеты показателя коэффициента концентрации в органах растений земляники садовой, более активно концентрирует тяжелые металлы сорт Мармолада, несколько ниже сорта Эльсанта и Хоней..

Таблица 13 - Содержание тяжелых металлов в ягодах перспективных сортов земляники садовой

Сорта (n=18)	Элементы, мг/кг						
	Cd	Pb	Cu	Zn	Mn	Fe	Cr
Хоней	$\frac{0.011 \pm 0.0007}{0.010 - 0.0125}$	$\frac{0.134 \pm 0.006}{0.125 - 0.148}$	$\frac{4.03 \pm 0.072}{3.90 - 4.15}$	$\frac{6.05 \pm 0.037}{5.98 - 6.11}$	$\frac{33.5 \pm 0.37}{32.9 - 34.2}$	$\frac{38.5 \pm 0.34}{37.9 - 39.1}$	$\frac{0.54 \pm 0.04}{0.51 - 0.57}$
Мармолада	$\frac{0.012 \pm 0.0007}{0.011 - 0.0135}$	$\frac{0.436 \pm 0.012}{0.42 - 0.46}$	$\frac{3.75 \pm 0.037}{3.68 - 3.81}$	$\frac{6.31 \pm 0.127}{6.10 - 6.54}$	$\frac{15.5 \pm 0.31}{15.0 - 16.1}$	$\frac{69.2 \pm 0.49}{68.4 - 70.1}$	$\frac{0.76 \pm 0.09}{0.73 - 0.79}$
Эльсанта	$\frac{0.0059 \pm 0.0005}{0.0050 - 0.0070}$	$\frac{0.170 \pm 0.005}{0.16 - 0.18}$	$\frac{2.97 \pm 0.072}{2.85 - 3.10}$	$\frac{5.62 \pm 0.095}{5.45 - 5.78}$	$\frac{30.5 \pm 0.60}{29.4 - 31.5}$	$\frac{42.9 \pm 0.95}{40.6 - 43.8}$	$\frac{0.56 \pm 0.06}{0.53 - 0.60}$
НСР 0.5	0.0018	0.018	0.023	0.062	0.054	0.058	0.032
ПДК [4]	0.03	0.4	5.0	10	500	50	0,2
Плодоножки	0,0090	0,18	7,64	20,00	182,1	94,6	0.29

Примечание: n – количество проб; в числителе - $X \pm m(x)$; в знаменателе - min-max

Сорт Хоней:

Cd: корни (0.093) > листья (0.052) > ягоды (0.011)

Pb: корни (1.20) > листья (0,31) > ягоды (0.13)

Cu: листья (40.2) > корни (35.9) > ягоды (4.03)

Zn: корни (54.8) > листья (35.1) > ягоды (6.05)

Mn: листья (209.4) > корни (136.9) > ягоды (33.6)

Fe: корни (1101.5) > листья (197.8) > ягоды (38.5)

Cr: корни (0.71) > ягоды (0.54) > листья (0.47)

Сорт Мармолада:

Cd: корни (0.093) > листья (0.024) > ягоды (0.012)

Pb: корни (0.96) > листья (0.43) > ягоды (0.29)

Cu: корни (81.9) > листья (18.8) > ягоды (3.75)

Zn: корни (83.3) > листья (17.7) > ягоды (6.31)

Mn: корни (176.8) > листья (118.8) > ягоды (15.5)

Fe: корни (1092.0) > листья (364.4) > ягоды (69.2)

Cr: ягоды (0.76) > листья (0.46) > корни (0.56)

Сорт Эльсанта

Cd: корни (0.035) > листья (0.023) > ягоды (0.0009)

Pb: корни (0.56) > ягоды (0.3) > листья (0.17)

Cu: корни (23.0) > листья (21.4) > ягоды (2.97)

Zn: корни (37.4) > листья (20.5) > ягоды (5.62)

Mn: листья (125.4) > корни (83.5) > ягоды (30.5)

Fe: корни (615.9) > листья (157.9) > ягоды (42.9)

Cr: корни (0.66) > ягоды (0.56) > листья (0.25)

По суммарному накоплению ТМ:

Хоней: $Cd_{0.36}+Pb_{0.32}+Cu_{0.21}+Zn_{0.6}+Mn_{0.053}+Fe_{0.11}+Cr_{3.1} = 4,753$

Мармолада: $Cd_{0.4}+Pb_{1.08} +Cu_{0.75}+Zn_{0.63}+Mn_{0.03}+Fe_{0.20} Cr_{3.8} = 6,886$

Эльсанта: $Cd_{0.19}+Pb_{0.425}+Cu_{0.59}+Zn_{0.562}+Mn_{0.061}+ Fe_{0.12} + Cr_{2.8} = 4,746$

Выше критических концентраций значения меди. Корни сорта Мармолада накапливают медь выше установленных норм в 4 раза.

4. Эффективность использования минеральных удобрений и опал- кри- стабалитовой породы (опоки) на аккумуляцию тяжелых металлов поч- вой и растениями земляники садовой

4.1 Фенологические наблюдения вегетационного периода земляники са- довой

Данные фенологических наблюдений показали, что ранними сроками разви- тия характеризуется сорт Хоней, фаза 3-4 настоящих листьев фиксируется 25.04.-3.05. , что на 5-7 дней раньше, чем у сорта Эльсанта и на 9-10 дней сор- та Мармолада.

В дальнейшем сроки различия развития сортов земляники сохраняются. Плодоношение у растений сорта Хоней наступает 29.05.-28.06., тогда как позднеспелый сорт Мармолада плодоносит 8.06.-5.07., Эльсанта – 6.06.-7.07.

Развитие растений изучаемых сортов происходило в разные сроки (таблица 14). По срокам фенологического развития средним является сорт Эльсанта, развитие растений сорта Хоней происходила на 5-7 дней раньше, а у сорта Мармолада, плодоношение растений наступало на 7-10 дней поз- же. Количество ягоды у сорта Хоней достигает 400 г с куста, Эльсанты – 400- 700 г, Мармолады до 600 г.

Земляника является высокодоходной культурой при урожайности 5 т/га и более [5]. У изученных сортов этот показатель был превышен: у растений сор- та Хоней в 2,18 раза, сорта Эльсанта в 2,38 раза, сорта Мармолада в 2,60 раза. Это означает, что производство ягод изученных сортов земляники является эффективным.

Максимальные показатели отмечены в первый год плодоношения, в по- следующие годы урожайность культуры снижалась у всех изученных сортов. Это объясняется возвратными весенними заморозками, которые повторялись в годы исследований в период цветения земляники. От этих заморозков осо- бенно страдают ранние сорта [79]. Цветки растений сорта Хоней из-за раннего периода цветения частично повреждались и урожайность была ниже, чем у земляники сортов Эльсанта и Мармолада

Таблица 14 - Фенология развития перспективных сортов земляники садовой в южной зоне Самарской области, 2011-2013 гг.

Фенофаза	Сорт		
	Хоней	Эльсанта	Мармолада
3-4 настоящих листьев	25.04-3.05	28.04-7.05	6.05-13.05
Начало появления цветоносов (начало бутонизации)	27.04-7.05	3.05-12.05	11.05-20.05
Массовое появление цветоносов (массовая бутонизация)	2.05-12.05	8.05-18.05	15.05-24.05
Начало цветения	5.05-16.05	11.05-23.05	19.05-29.05
Массовое цветение	10.05-23.05	17.05-30.05	24.05-6.06
Рост и созревание ягод	18.05-2.06	25.05-10.06	1.06-17.06
Плодоношение	29.05-28.06	6.06-7.07	8.06-5.07
После скашивания 3-4 настоящих листьев	7.07-9.11	17.07-14.11	15.07-20.11
Состояние покоя (анабиоз)	7.11	11.11	15.11

Сорт Мармолада отличается более высокой урожайностью (таблица 15).

Таблица 15 - Урожайность перспективных сортов земляники садовой, т/га

Сорт (срок созревания)	Годы исследований				Среднее	Контроль [6]
	2010	2011	2012	2013		
Хоней (ранний)	4,7	12,0	9,9	10,8	9,35	16,7-18,9
Эльсанта(средний)	4,9	13,5	11,5	10,9	10,2	15,1-19,2
Мармолада (поздний)	6,3	14,2	12,8	12,0	11,3	15,5-18,4

Контролем служили рекомендованные для промышленных насаждений районированные для Среднего Поволжья сорта земляники садовой: раннего срока созревания Фея, среднего Фестивальная, позднего Зенга Зенгана [6]. Значения урожайности были ниже контрольных значений в годы исследо-

ваний у изученных сортов – Хоней в 1,9 раза, Эльсанта в 1,7 раза, Мармолада в 1,5 раза. По данным урожайности среди изученных сортов более высокой урожайностью отличался сорт Мармолада. Это свидетельствует о сортовых особенностях развития растений, когда, несмотря на влияние погодных условий, сохраняется различия в урожайности. Вероятно, более поздние сроки цветения способствовали сохранению урожая растений сорта Мармолада. Урожайность сортов в 1 год плодоношения в наших исследованиях была выше, чем указано в литературных данных [97,98]. Более урожайный 2011 год сорт Хоней показывал более высокую урожайность, но она была ниже Эльсанты и Мармолады. Благоприятные условия 2011 года были связаны с меньшим вымерзанием растений вследствие выпадения большего количества осадков в зимний период и создания высокого снежного покрова.

Таким образом, возделывание сортов разного срока созревания позволяет увеличить период получения ягодной продукции. Преимущество выращивания в степной зоне Заволжья имеет поздний сорт Мармолада, так как в период цветения не испытывает действия заморозков, в отличии от раннего сорта Хоней.

4.2 Влияние минеральных удобрений и опоки на содержание валовой и подвижной формы тяжелых металлов в почвах опытного участка

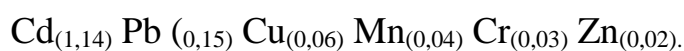
Контроль над содержанием тяжелых металлов проводился нами поэтапно на каждой стадии развития растений. Значения валовой формы тяжелых металлов находится ниже установленных ПДК (таблица 16). Превышение фоновых значений в 1,12 раза выявлено по высокотоксичному свинцу на контрольном варианте опыта, при внесении минеральной подкормки происходит снижение в 1,3 раза в сравнении с контролем, добавление к удобрениям опоки способствует уменьшению токсиканта в 1,68 раза. Геохимический индекс почвы:

$$\frac{\text{Pb}_{(1,12)}}{\text{Cu}_{(0,56)} \quad \text{Fe}_{(0,48)} \quad \text{Mn}_{(0,46)} \quad \text{Zn}_{(0,43)} \quad \text{Cd}_{(0,39)} \quad \text{Cr}_{(0,08)}}$$

Таблица 16- Содержание валовой формы тяжелых металлов в почве под участками земляники садовой сорта Эльсанта по фазам развития, мг/кг

Варианты опыта	Cd	Pb	Cu	Zn	Mn	Cr	Fe
фаза 3-4 настоящих листьев							
контроль	0,33	12,7	16,4	36,4	357	16,2	14578
+ минеральные удобрения	0,3	11,6	16,1	36,6	384	7,94	15412
+ минеральные удобрения +опока	0,31	7,01	14	32,8	312	9,08	16477
фаза бутонизации							
контроль	0,32	12,7	13,7	36,4	338	12	15785
+ минеральные удобрения	0,32	11,2	16,4	36,6	371	13,2	14704
+ минеральные удобрения +опока	0,31	7,01	14	32,8	312	9,08	16477
фаза цветения							
контроль	0,3	12,2	15,1	36,4	330	8,2	14445
+ минеральные удобрения	0,35	7,46	19	36,4	340	11,9	18383
+ минеральные удобрения +опока	0,32	7,45	16,5	33	332	7,02	15320
фаза плодоношения							
контроль	0,33	12,6	14,4	36,4	384	15,3	12752
+ минеральные удобрения	0,35	8,25	17,6	36,4	348	7,18	21004
+ минеральные удобрения +опока	0,31	7,16	13,6	32,8	322	8,51	16987
ФОН [9]	0,82	11,2	26,5	75,5	687,7	102	33592
ПДК[8]	2	30	55	100	1500	100	-

Свинец относится к числу накапливающихся элементов, медь, железо, марганец, кадмий и хром – рассеивающиеся в почве исследуемого агроландшафта. Внесение минеральной подкормки способствует понижению концентрации валовой формы в сравнении с контролем кадмия и меди в 1,0 раз, меди, марганца и железа – в 1,1 раза, хрома - в 1,5 раза. В фазу цветения и плодоношения увеличивается концентрация валовой формы меди на варианте с использованием минеральной подкормки, что связано с уменьшением поступления ее в растения. Для характеристики доступности элементов для растений наиболее значимы подвижные формы элементов. Установленные концентрации подвижных форм элементов не превышают установленных ПДК (таблица 17). По рассчитанным значениям коэффициентов концентрации (Кс) подвижной формы в почве изученные металлы представлены следующим убывающим рядом:



Процент подвижности элементов увеличивается при внесении в почву минеральной подкормки в сравнении с контрольным вариантом: Cu – в 1,0 раза, Mn – в 1,1 раза, Cr – в 1,7 раза; при добавлении опоки Cd – в 1,24 раза, Pb – в 1,52 раза, Zn – в 1,22 раза.

Фоновые значения изученных тяжелых металлов превышены по кадмию. Внесение минеральной подкормки и добавление опоки не ограничивало подвижность токсиканта. Максимальные значения подвижного кадмия в почве обнаружены в фазу плодоношения земляники. Значения подвижной формы свинца минимальны в фазу 3-4 настоящих листьев, на варианте с внесением минеральных удобрений они ниже контрольного в 1,78 раза, при добавлении опоки происходит снижение в 1,2 раза. В фазу бутонизации на всех вариантах опыта происходит уменьшение концентрации подвижного свинца в среднем в 1,18 раза. Увеличение значений подвижной формы свинца в 2,1 раза обнаруживалось в фазу цветения на варианте с внесением минеральной подкормки. В фазу плодоношения концентрация подвижного свинца в почве уменьшается в сравнении с началом вегетации в 1,25 раза.

Таблица 17 - Содержание подвижной формы тяжелых металлов (*экстрагент ацетатно-аммонийный буфер рН 4,8*) в почве под участками земляники садовой сорта Эльсанта по фазам развития, мг/кг

Варианты опыта	Cd	Pb	Cu	Zn	Mn	Cr
фаза 3-4 настоящих листьев						
контроль	0,05	0,41	0,23	0,87	20,1	0,87
+ минеральные удобрения	0,04	0,23	0,16	0,25	21,2	2,09
+ минеральные удобрения + опока	0,05	0,34	0,18	0,44	19,3	0,89
фаза бутонизации						
контроль	0,04	0,37	0,17	0,44	18,4	1,46
+ минеральные удобрения	0,04	0,18	0,22	0,34	28,5	2,1
+ минеральные удобрения + опока	0,05	0,28	0,14	0,27	13,7	0,77
фаза цветения						
контроль	0,04	0,3	0,17	0,58	21,5	1,76
+ минеральные удобрения	0,05	0,38	0,23	0,31	17,4	2,25
+ минеральные удобрения + опока	0,05	0,33	0,22	0,44	23	0,93
фаза плодоношения						
контроль	0,04	0,29	0,19	0,58	21,5	2,08
+ минеральные удобрения	0,06	0,2	0,21	0,3	27,6	1,82
+ минеральные удобрения + опока	0,06	0,29	0,16	0,25	13,2	1,6
ФОН [9]	0,04	2,25	3	24,98	493,07	49,64
ПДК [8]	2	6	3	23	100	6

Концентрация подвижной формы меди в почве снижается в процессе развития земляники садовой. Внесение минеральных удобрений способствует повышению значений подвижной меди в почве в фазу цветения растений. На варианте с внесением опоки обнаруживается незначительное - в 1,0 раза, снижение подвижной меди в сравнении с контролем. Концентрация подвижного цинка снижается на вариантах с внесением минеральных удобрений и дополнительным внесением опоки в 2,0 и 1,76 раза соответственно. Максимальные значения подвижного цинка обнаруживается в фазу 3-4 настоящих листьев, в фазу бутонизации происходит снижение концентрации в 1,5 раза, в фазы цветения и плодоношения в 1,18 и 1,40 раза соответственно сравнении с началом вегетации. Значение подвижной формы марганца в средних значениях в процессе вегетации растений не изменяется.

Наибольшее значение выявлено в фазу бутонизации на варианте с внесением минеральных удобрений. Этот же фон способствует накоплению в почве подвижного марганца в 1,1 раза больше, чем на контроле. При внесении опоки происходит снижение концентрации элемента в 1,1 раза по сравнению с контрольным вариантом. Аналогичная закономерность выявлена в отношении подвижной формы хрома. На варианте с внесением минеральных удобрений превышение в сравнении с контролем составило 1,3 раза, снижение при добавлении опоки 1,4 раза. Максимальная концентрация подвижного хрома в почве обнаружена в фазу плодоношения земляники. На контрольном варианте опыта концентрация хрома в почве повышается в 2,39 раза.

Сорт Хоней. В процессе развития земляники садовой концентрация химических элементов изменяется в зависимости от фазы развития растений. На всем протяжении развития валовые значения тяжелых металлов находятся в пределах ПДК (таблица 18). В почве участков под сортом «Хоней» активно накапливается кадмий ($K_k=2,33$). Коэффициент накопления показывает, что близко к фоновому уровню содержание свинца ($K_c=1,03$).

Таблица 18 - Содержание валовой формы тяжелых металлов в почве под участками земляники садовой сорта Хоней по фазам развития, мг/кг

Варианты опыта	Cd	Pb	Cu	Zn	Mn	Cr	Fe
фаза 3-4 настоящих листьев							
контроль	0,25	13,0	17,2	36,9	333,0	6,31	15580
+ минеральные удобрения	0,29	13,4	19,0	36,8	306,0	6,72	15512
+ минеральные удобрения +опока	0,31	7,5	17,2	31,7	299,0	12,6	15633
фаза бутонизации							
контроль	0,29	11,6	16,8	36,8	393,0	8,3	11777
+ минеральные удобрения	0,29	13,0	16,8	36,6	368,0	11,0	11562
+ минеральные удобрения +опока	0,31	11,9	14,8	33,4	337,0	9,63	13324
фаза цветения							
контроль	0,35	10,5	18,9	36,8	395,0	11,6	17636
+ минеральные удобрения	0,32	13,0	17,9	36,8	381,0	9,31	14064
+ минеральные удобрения +опока	0,30	12,9	15,6	32,9	366,0	7,21	13897
фаза плодоношения							
контроль	0,33	8,4	18,7	36,6	391,0	7,64	12318
+ минеральные удобрения	0,31	11,4	16,5	36,6	371,0	8,32	14415
+ минеральные удобрения +опока	0,28	11,3	14,0	33,3	356,0	8,55	13677
ФОН [9]	0,82	11,2	26,5	75,5	687,7	102	33592
ПДК[8]	2	30	55	100	1500	100	-

В фазу 3-4 настоящих листьев валовые значения изученных элементов различны на заданных вариантах опыта. На варианте с внесением опоки значения кадмия выше контрольных в 1,24 раза, свинца ниже в 1,7 раза, на варианте с внесением минеральных удобрений содержание Pb выше контроля в 1,00 раза. Концентрация меди на варианте с опоккой равна контролю, при внесении минеральных удобрений значения Cu выше контрольного в 1,1 раза. Содержание цинка не изменяется при внесении минеральных удобрений, но понижается в 1,16 раза на варианте с опоккой. Значения валовой формы марганца уменьшается в сравнении с контролем при внесении минеральных удобрений в 1,08 раза, опоки в 1,11 раза. Валовый Cr превышен на варианте с опоккой в 2,00 раза. Содержание железа уменьшается при внесении минеральных удобрений и опоки в 1,00 и 0,99 раза соответственно. В фазу бутонизации растений значения валовой формы кадмия не изменяются.

Концентрация свинца уменьшается на контроле в 1,12 раза, на варианте с внесением минеральных удобрений незначительно снижается – в 1,00 раза, с внесением опоки повышается в 1,00 раза. На всех вариантах опыта происходит снижение валовой формы меди: контроле - в 1,00 раза, с минеральными удобрениями - в 1,13 раза, внесение опоки - в 1,16 раза. Значения цинка увеличивается на варианте с внесением опоки в 1,05 раза, на контроле и при внесении минеральных удобрений не изменяется в сравнении с предыдущей фазой развития растений. Значения марганца незначительно понижается на контрольном варианте, но повышается при внесении минеральных удобрений в 1,20 раза, опоки – в 1,12 раза.

При переходе к фазе цветения у растений земляники садовой сорта «Хоней» снижается содержание валового кадмия на контрольном варианте и при внесении опоки, повышается при внесении минеральных удобрений в 1,10 раза. Валовая форма свинца снижается на контрольном варианте в 1,1 раза, на варианте с минеральными удобрениями не изменяется, в 1,08 раза повышается при внесении опоки. Содержание меди повышается на контроле и при внесении минеральных удобрений в 1,06 раза, опоки – в 1,05 раза. Значение

марганца повышается на всех вариантах опытов в 1,00 раза. Аккумуляция хрома снижается на контроле в 1,03 раза, при внесении минеральных удобрений в 1,18 раза, опоки – в 1,03 раза. Отмечены изменения в содержании железа: на контроле понижено в 1,01 раза, повышено при внесении минеральных удобрений и опоки в 1,21 и 1,04 раза соответственно. В фазу плодоношения отмечается снижение содержания кадмия при внесении опоки в 1,07 раза, свинца в 1,14 раза. Концентрация свинца понижается при внесении минеральных удобрений в 1,14 раза, на контроле в 1,25 раза. На всех изученных вариантах снижается концентрация валовой формы меди: контрольном – в 1,00 раза, с внесением минеральных удобрений и опоки - в 1,08 и 1,14 раза соответственно. На контрольном варианте и при внесении минеральных удобрений снижается концентрация цинка в 1,00 раза, на варианте с внесением опоки повышается в 1,00 раза. Концентрация марганца не изменяется на контроле, при внесении опоки и минеральных удобрений снижается в 1,02 раза. Значения валовой формы хрома не изменяется на контрольном варианте, уменьшается при внесении минеральных удобрений в 1,12 раза и увеличивается при внесении опоки в 1,18 раза. Содержание железа понижается на контроле и при внесении опоки в 1,02 и 0,98 раза соответственно, увеличивается на варианте при внесении минеральных удобрений в 1,02 раза. Значения подвижных форм изученных химических элементов не превышает установленных ПДК и фоновых концентраций (таблица 19).

Превышает фоновые значения концентрация кадмия на всех вариантах опыта в фазы 3-4 настоящих листьев и бутонизации. На протяжении развития растений концентрация подвижной формы Cd, Pb, Cu, Zn, Mn, Cr возрастает. Максимальный процент подвижности характерен для Cd и Cr. На контрольном варианте подвижность Cd составила 15,88%, при внесении минеральных удобрений и опоки 13,0% и 12,8% соответственно.

Активизация подвижности Cd происходит в фазу бутонизации растений на варианте с внесением минеральных удобрений в 1,2 раза, опоки – 1,15 раза, последующие фазы цветения и плодоношения подвижность Cd уменьшается.

Таблица 19 - Содержание подвижной формы тяжелых металлов (экстрагент ацетатно-аммонийный буфер рН 4,8) в почве под участками земляники садовой сорта Хоней по фазам развития, мг/кг

Варианты опыта	Cd	Pb	Cu	Zn	Mn	Cr
фаза 3-4 настоящих листьев						
контроль	0,048	0,36	0,27	0,93	23,0	0,99
+ минеральные удобрения	0,038	0,27	0,20	0,28	23,7	1,33
+ минеральные удобрения +опока	0,040	0,37	0,23	0,44	21,8	1,00
фаза бутонизации						
контроль	0,044	0,34	0,17	0,41	17,6	1,57
+ минеральные удобрения	0,044	0,26	0,22	0,29	19,6	1,76
+ минеральные удобрения +опока	0,046	0,36	0,17	0,22	17,8	0,87
фаза цветения						
контроль	0,030	0,15	0,21	0,47	22,4	1,40
+ минеральные удобрения	0,036	0,18	0,24	0,29	21,9	1,55
+ минеральные удобрения +опока	0,034	0,15	0,23	0,36	22,9	0,78
фаза плодоношения						
контроль	0,030	0,30	0,22	0,49	21,6	2,67
+ минеральные удобрения	0,036	0,23	0,24	0,30	23,5	2,45
+ минеральные удобрения +опока	0,035	0,30	0,20	0,29	14,6	2,12
ФОН [9]	0,04	2,25	3	24,98	493,07	49,64
ПДК [8]	2	6	3	23	100	6

Концентрация подвижного свинца на контрольном варианте опыта максимальна в фазу плодоношения (3,57%), минимальна в фазу цветения растений (1,43%). Аналогичная закономерность отмечена на варианте с внесением минеральных удобрений. Внесение опоки способствовало снижению подвижности свинца в фазу цветения и плодоношения растений в сравнении с началом развития в 2,77 раза. В средних значениях подвижность высокотоксичного свинца на изученных вариантах составила (%): контроль (2,66); внесение минеральных удобрений (1,85%); внесение опоки (2,51). Концентрация подвижной меди в почве на изученных вариантах опыта различалась незначительно: 1,24 % на контроле, 1,43% при внесении минеральных удобрений и 1,65% при добавлении опоки. В процессе развития растений подвижность меди в почве возрастает при внесении минеральных удобрений и опоки в 1,92 раза и уменьшается на контроле в 1,27 раза. Концентрация подвижной формы цинка уменьшается в сравнении с контролем при внесении минеральных удобрений в 1,97 раза, с добавлением опоки в 1,56 раза.

При переходе от фазы 3-4 настоящих листьев к фазе бутонизации содержание подвижного Zn снижается в 2,3 раза, в последующее цветение и плодоношение отмечается незначительное повышение значений. Минеральные удобрения способствуют возрастанию концентрации подвижного цинка на протяжении развития растений. При внесении опоки подвижность Zn уменьшается на каждой последующей стадии развития: в фазу бутонизации в 2,1 раза, цветения 1,7 раза, плодоношения в 1,25 раза. Подвижность марганца в почве снижалась вследствие внесения минеральных удобрений и опоки в 1,1 раза. На контрольном варианте при развитии растений в фазу бутонизации происходило снижение концентрации Mn в 1,3 раза, при цветении и плодоношении повышалось в 1,3 и 1,2 раза соответственно. В почве на варианте с внесением минеральных удобрений прослеживалась аналогичная закономерность. Добавление опоки способствовало снижению подвижности марганца в фазу бутонизации 1,3 раза и повышению в 1,5 раза в последующие стадии. Для хрома отмечена максимальная подвижность среди изученных элементов.

При внесении минеральных удобрений подвижность хрома в почве снижается в 1,3 раза, при добавлении опоки в 2,0 раза. На контрольном варианте опыта при переходе к фазе бутонизации концентрация подвижного хрома увеличивается в 1,58 раза, в фазу цветения снижается в 1,08 раза, в фазу плодоношения увеличивается в 1,9 раза. При внесении минеральных удобрений снижении концентрации Cr в фазу бутонизации составило 1,24 раза, увеличение в фазы цветения и плодоношения в 1,77 раза. Добавление опоки способствовало увеличению подвижности хрома. При переходе от фазы 3-4 листьев к бутонизации, цветению и плодоношению увеличение составило 1,14, 1,20 и 2,30 раза соответственно. В фазу плодоношения подвижность хрома максимальна в сравнении с начальной фазой развития: на контроле в 2,78 раза, варианте с внесением минеральных удобрений в 1,5 раза, внесение опоки в 3,12 раза.

Расчет корреляционной зависимости показал положительную зависимость между содержанием валовой и подвижной формами элементов (таблица 20). Наибольшая связь ($r = 0,766$) выявлена у меди. Максимально подвижная форма связана с содержанием в растении также у меди ($r = 0,972$), положительную корреляцию имеет свинец, остальные элементы находятся в обратной зависимости.

Таблица 20 - Корреляционная зависимость (r) между значениями тяжелых металлов

Элемент	Признаки			
	Валовая - подвижная формы почвы	Подвижная форма почвы - растения	Корни – листья растений	Ягоды - урожайность
Cd	0,378	-0,153	0,992	0,444
Pb	0,034	0,250	-0,452	-0,575
Cu	0,766	0,972	0,635	0,932
Zn	0,279	-0,655	0,073	0,645
Mn	0,490	-0,538	0,543	0,956
Cr	0,121	0,585	0,425	0,656
Fe	-	-	-0,558	0,171

4.3 Влияние минеральных удобрений и опоки на накопление тяжелых металлов сортовыми растениями земляники садовой

Сорт Эльсанта В растения тяжелые металлы могут поступать либо через адсорбцию корнями, либо поглощением через листовую поверхность [11].

По результатам наших исследований пороговая концентрация тяжелых металлов в растениях земляники садовой не превышена (таблица 21). Рассчитаны коэффициенты биологического поглощения (Кб), характеризующие интенсивность поглощения растениями элементов [120]. Ряд интенсивности для земляники садовой имеет следующий вид: $Cu_{(1,72)} Zn_{(1,16)} Mn_{(0,36)} Cd_{(0,19)} Pb_{(0,10)} Cr_{(0,07)}$. Представленный ряд демонстрирует, что растения земляники садовой интенсивнее всего поглощают: Zn, Cu, и Mn, в то время, как потребность в Cd, Pb, Cr минимальна. Высокий Кб Cu и Zn свидетельствует о том, что в течение жизни растения земляники накапливает эти элементы, и позволяет отнести их к элементам биологического накопления, остальные тяжелые металлы относятся к элементам биологического захвата. На протяжении вегетации растений и в зависимости от фона возделывания наблюдаются колебания в интенсивности поступления элементов. Cd поглощается в фазу бутонизации земляники. Значения элемента находятся в пределах нормальных концентраций, в среднем отмечено превышение фонового уровня на контроле и вариантах с внесением опоки в 1,33 раза, при внесении минеральных удобрений в 3,8 раза. Превышена концентрация Cd в корнях растений, при поступлении в листья интенсивность поглощения снижается, в ягодах значения Cd минимальны. На контрольном варианте содержание Zn равно фоновому значению, на варианте с внесением минеральных удобрений и опоки ниже уровня фона в 3 раза. Значения высокотоксичного Pb в среднем не превышают порога нормальной концентрации, но выше фонового значения. Концентрация Pb в растениях увеличивается в варианте с внесением минеральных удобрений и опоки в 1,3 раза в сравнении с контролем, на котором фон превышен в 3,1 раза.

Максимальное содержание Рb в растениях отмечено в фазу плодоношения. Корни растений накапливают больше Рb, чем листья на протяжении всей вегетации растений, содержание в ягодах не превышает ПДК/

Минимальное количество свинца обнаружено в ягодах, выращенных на варианте с применением минеральных удобрений – ниже ПДК в 5 раз, с внесением опоки – в 0,6 раза. Пороговые значения цинка в растениях не превышены, но существенно превышены фоновые значения элемента на контроле в 1,3 раза, вариантах с внесением минеральных удобрений и сочетаниях минеральных удобрений и опоки в 2,0 и 2,3 раза соответственно. Накопление цинка земляникой садовой происходит в фазу плодоношения растений.

В растениях устанавливается барьер в отношении поглощения цинка в фазу цветения, закладка генеративных органов способствует этому, но последующее развитие усиливает концентрацию элемента, ягоды накапливают его в количествах близких к ПДК. Значения цинка в ягодах на варианте опыта с применением минеральных удобрений превышены в 1,1 раза, внесение опоки обеспечивает снижение концентрации в 1,2 раза в сравнении с ПДК. Высокая концентрация цинка в растениях при внесении опоки усиливает его подвижность (выше контроля в 1,8 раза), корни растений накапливают цинка больше, чем листья в 1,2 раза. Содержание марганца в растениях значительно превышает фоновое значение. На контрольном варианте опыта фон превышен в 3,4 раза, на варианте с внесением минеральных удобрений и сочетание с опоккой в 2,4 и в 2,2 раза соответственно. Активная аккумуляция марганца земляникой происходит в фазу бутонизации растений, к началу цветения и во время плодоношения она равна значениям начала вегетации. Марганец концентрируется в листьях растений, его значения выше таковых в корнях в 2,0 раза. Содержание Mn в ягодах земляники ниже ПДК на контроле в 20,9 раза, при внесении минеральных удобрений в 14,7 раза, при сочетании с опоккой в 20,5 раза. Фоновое значение по хрому в растениях Самарской области находится на уровне критической концентрации..

Таблица 21 - Содержание тяжелых металлов в растениях земляники садовой сорта Эльсанта по фазам развития, мг/кг сухого вещества

Орган растения	Cd			Pb			Cu			Zn			Mn			Cr			Fe		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
фаза 3-4 настоящих листьев																					
корни	0,05	0,56	0,08	1,17	1,42	1,85	41,4	20,8	70,5	40,3	25,4	44,1	92,8	75,4	102,4	0,97	0,85	0,66	1377	846	2294
листья	0,02	0,08	0,02	0,22	0,53	0,43	6,07	17,4	33,4	14,3	70	59	236,8	135,6	168,1	0,3	0,56	0,45	120	221,9	101,9
фаза бутонизации																					
корни	0,07	0,12	0,08	2,63	1,64	1,62	28,4	23,3	15,2	62,9	29,8	68,8	94,8	106,8	89,5	0,67	2,14	1,8	1304	1327	1719
листья	0,02	0,03	0,02	0,22	0,06	0,25	8,12	12,7	26,9	13,3	46,6	43,5	264,6	218,6	116,1	0,15	0,43	0,3	141,3	203	78,9
фаза цветения																					
корни	0,06	0,11	0,07	1,39	1,85	1,44	20,1	24,4	88,6	34,1	32,6	50	99,4	92	81,6	1,46	1,95	0,97	2487	1397	1650
листья	0,02	0,03	0,02	0,26	0,13	0,83	5,98	80	24,4	14,4	35,4	58,4	244,9	153,2	143	0,24	0,74	0,28	157,4	322,3	140,8
фаза плодоношения																					
корни	0,06	0,09	0,07	1,62	2,2	1,16	47,3	36,4	13,85	46,3	57,3	67,9	101,4	95,4	81,8	0,76	2,13	0,52	1947	2955	1691
листья	0,02	0,02	0,02	0,22	0,1	2,54	8,27	18,4	31,3	14,8	76,8	59,9	285,9	90,1	159,8	0,4	0,75	0,48	140,6	68	136,5
ягоды	0,03	0,01	0,01	0,15	0,08	0,25	3,31	12,5	2,9	9,75	11,3	8,13	23,9	34	24,3	0,48	0,59	0,41	140,6	138,6	43
ПДК [6]	0,03			0,4			5			10			500			0,2					
среднее	0,04	0,12	0,04	0,88	0,89	1,15	18,7	27,3	34,1	27,8	42,8	51,1	160,5	111,2	107,4	0,6	1,13	0,65	868,3	830,9	872,8
ФОН[9]	0,03			0,28			24,5			21,38			46,73			2			336,44		
нормальная концентрация	0,05-2			0,1 - 5			2 - 12			15 - 150			300			0,2 – 1			50 - 250		
Критическая концентрация	5 - 10			10 - 20			15 - 20			150 - 200			500			2			750		
фитотоксичная концентрация	100			60			20			400			500			100			-		

Превышение порогового значения отмечено в корнях растений на стадиях бутонизации и плодоношения на варианте с внесением минеральных удобрений в 1,0 раза. В средних значениях уровень хрома в растениях не превышал фонового значения. Максимальное накопление элемента отмечено на варианте с внесением минеральных удобрений – выше контроля в 1,86 раза, внесение опоки снижает этот показатель в 1,0 раза. Наиболее интенсивно хром поглощается в фазу цветения и бутонизации растений, в фазу плодоношения уровень понижается в 1,1 раза. Накопление хрома органами растений земляники уменьшается в ряду: корни(1,24) листья (0,42) ягоды (0,49). ПДК хрома в ягодах превышены на контрольном варианте в 2,4 раза, при внесении минеральных удобрений в 2,9 раза, при внесении опоки в 2,0 раза. Концентрация железа в растениях земляники превышает фоновое значение в 2,54 раза. Основным концентратором элемента являются корни растений, которые накапливают железо в 8,25 раза больше, чем листья. Значения Fe в ягодах не превышают норму и содержат элемент ниже допустимого в 7,8 раза. Накопление железа увеличивается в процессе вегетации растений. В среднем в растениях содержание Fe на начальной стадии превышает фон в 2,36 раза, в фазе бутонизации в 2,36 раза, цветения в 3,04 раза, плодоношения в 3,43 раза. Фоновое значение меди в растениях Самарской области превышает установленную величину фитотоксичной концентрации. В наших опытах медь также активно накапливалась растениями. В фазу 3-4 настоящих листьев Cu в корнях растений в среднем значении превышала фоновое значение в 1,8 раза, в листьях была ниже фона в 1,3 раза. Максимальное значение отмечено на варианте с добавлением опоки, корни растений аккумулировали медь в 2,87 раза больше фонового значения. Общей закономерностью всех вариантов опыта на этой стадии являлось преобладание содержания меди в корнях растений над листьями. Разница между значениями в корнях и листьях составила на контроле 6,8 раза, варианте с внесением минеральных удобрений 1,2 раза, варианте с внесением опоки 2,1 раза. В фазу бутонизации концентрация меди в растениях

снизилась, но превышала фон в 1,3 раза. В сравнении с началом вегетации, содержание меди понизилось на всех вариантах опыта. На варианте опыта с внесением опоки максимальная концентрация обнаруживалась в листьях растений, она превышала значения в корнях в 1,8 раза, на контроле и варианте с внесением минеральных удобрений концентрация в корнях была выше в 3,4 и в 1,8 раза соответственно. В фазу цветения произошло снижение концентрации меди в сравнении с началом вегетации в 2,3 раза. Закономерность снижения концентрации Cu не относилась к варианту опыта с добавлением опоки. Значения в корнях повысились и превышало концентрацию в листьях в 3,6 раза. На контроле значения меди были минимальны, преобладание значений Cu в корнях в сравнении с листьями было 3,4 раза. На варианте с внесением удобрений повысилась концентрация в листьях, разница с содержанием в корнях равнялась 3,3 раза. В фазе плодоношения максимальной была концентрация в корнях растений контрольного варианта, преобладание над листьями было в 5,7 раза. Содержание меди в ягодах на этом варианте было ниже ПДК в 1,5 раза. При внесении минеральных удобрений содержание меди в корнях было ниже, чем на контроле, превышение над концентрацией в листьях составило 1,9 раза. Концентрация Cu в ягодах превысила ПДК в 2,5 раза. На варианте с внесением опоки концентрация в листьях была в 2,3 раза выше, чем в корнях. Содержание в ягодах ниже ПДК в 1,7 раза.

Наибольшая связь ($r = 0,766$) выявлена у меди. Максимально подвижная форма связана с содержанием в растении также у меди ($r = 0,972$), положительную корреляцию имеет свинец, остальные элементы находятся в обратной зависимости. Связь содержания в корнях и листьях растений отразилась в положительных значениях для Cd, Cu, Mn, Cr, Zn для Pb и Fe она была отрицательной. Положительная корреляция выявлена между содержанием всех изученных тяжелых металлов и урожайностью земляники, максимальная зависимость у значений Mn и Cu. Обработка достоверных урожайных данных (таблица 22) показала, что лучшим вариантом для

получения высокого урожая ягод земляники сорта Эльсанта в условиях степного Поволжья является применение минеральной подкормки растений. В сравнении с контролем добавление опоки способствует увеличению продукции на 1,8 %, минеральной подкормки на 7,0%, что на 5,2 % ниже.

Таблица 22 - Урожайность земляники садовой сорта Эльсанта в годы исследований, т/га

Вариант опыта	2011	2012	2013	Среднее значение	Отклонение от контроля	
					т/га	%
контроль	13,52	11,50	11,11	12,04	-	-
+ минеральные удобрения	14,17	12,28	12,21	12,89	+ 0,85	+ 7,0
+ минеральные удобрения + опока	13,60	11,79	11,38	12,26	+ 0,22	+ 1,8
НСР 05	0,41	0,44	0,11			

Урожайность сорта Хоней на всех опытных вариантах была ниже сорта Эльсанта в среднем на 1,3 т/га (таблица 23). Максимальные значения урожая отмечались на варианте с внесением минеральных удобрений, без внесения опоки урожайность сорта была на 1,3% выше.

Таблица 23 - Урожайность земляники садовой сорта Хоней в годы исследований, т/га

Вариант опыта	2011	2012	2013	Среднее значение	Отклонение от контроля	
					т/га	%
контроль	4,7	12,0	9,9	9,35	-	-
+ минеральные удобрения	5,1	12,4	10,6	9,90	+ 0,55	+ 5,9
+ минеральные удобрения + опока	4,8	12,3	10,6	9,78	+ 0,43	+ 4,6
НСР 05	0,42	0,45	0,15			

Сорт Хоней. Содержание тяжелых металлов земляники различалось в

зависимости от фазы развития и органа растений (таблица 24). Концентрация кадмия в органах растений земляники находится в пределах нормальной концентрации, не превышает критической и фитотоксичной. Отмечено превышение фоновых значений в корнях и листьях растений на всех вариантах опыта на протяжении развития растений, в листьях растений происходит снижение концентрации кадмия в фазу плодоношения. Максимальное превышение обнаруживается на варианте с внесением минеральных удобрений в средних значениях в 7,7 раза. Барьерная функция корней проявляется в разнице с концентрацией Cd в вегетативных и генеративных органах, она составила на варианте с внесением минеральных удобрений 5,02 раза, на контроле 2,93 раза, при добавлении опоки – 2,58 раза. Высокая концентрация Cd в растениях обнаруживается в фазу бутонизации на всех вариантах опыта, содержание в корнях на контрольном варианте превышает содержание в листьях в 7,0 раза, при внесении минеральных удобрений в 5,6 раза, при добавлении опоки к минеральным удобрениям в 4,8 раза.

В фазу цветения концентрация Cd в корнях растений уменьшается на контроле и при внесении опоки в 1,4 раза, при внесении минеральных удобрений в 3,0 раза. В фазы цветения и плодоношения поступление кадмия в вегетативные и генеративные органы земляники уменьшается, в листьях в 4,16 раза, ягоды в 4,3 раза. На контрольном варианте концентрация Cd в ягодах меньше, чем во всем растении в 2,34 раза, на варианте с внесением минеральных удобрений в 12,6 раза, при добавлении опоки в 5,67 раза. В средних значениях аккумуляция кадмия и барьерные функции в растениях земляники максимальны при внесении минеральных удобрений, на контрольном варианте и при добавлении опоки их значения ниже в 3 раза.

Концентрация высокотоксичного свинца по нормам значений превышает установленную фоновую концентрацию на всех изученных вариантах опыта. В процессе развития растений земляники накопление токсиканта снижается. В фазу 3-4 настоящих листьев минимальные значения Pb и высокая барьер-

ная функция корней отмечены на контрольном варианте: в листьях Pb накапливается в 2,28 раза, чем в корнях, на варианте с внесением минеральных удобрений это значение составило 1,15 раза, при внесении опоки 1,57 раза. В фазу бутонизации содержание Pb в среднем значении в растениях уменьшается на вариантах с добавлением минеральных удобрений и опоки в 1,0 и 1,5 раза соответственно, на контроле возрастает в 1,2 раза.

Корни растений накапливают свинца больше, чем листья в 10,8 раза на контрольном варианте, при внесении минеральных удобрений в 11,2 раза, опоки в 5,64 раза. В фазу цветения и плодоношения отмечается снижение содержания Pb на всех изученных вариантах опыта. На контрольном варианте разница в средних значениях с фазой бутонизации составила 1,6 раза, при переходе от плодоношения к цветению уменьшение было в 0,75 раза. При внесении минеральных удобрений эти значения уменьшались в 2,0 и 1,3 раза соответственно, при добавлении опоки в 2,0 и 0,97 раза. В фазу цветения накопление в корнях растений на контрольном варианте было в 1,36 раза выше, чем в листьях, при внесении минеральных удобрений в 7,52 раза, опоки – в 5,62 раза. Фаза плодоношения характеризуется максимальной концентрацией Pb в среднем значении на варианте с внесением минеральных удобрений, проявлением высоких защитных функций растений в отношении генеративных органов. При добавлении опоки напротив, защитная функция корней не проявляется и в листьях токсиканта накапливается в 1,62 раза больше, чем в корнях, содержание в ягодах выше контрольного в 1,27 раза. В сравнении с ПДК в ягодах земляники концентрация ниже в 1,90 раза на варианте с внесением минеральных удобрений, при добавлении опоки в 1,08 раза, на контроле – в 1,38 раза.

Фоновая концентрация Cu в землянике превышает установленные нормативные значения в два раза. Предполагаем, что у растений выработались устойчивый металлоаккумуляционные механизмы в отношении накопления меди.

Таблица 24 - Содержание тяжелых металлов в растениях земляники садовой сорта Хоней по фазам развития, мг/кг сухого вещества

Орган растения	Cd			Pb			Cu			Zn			Mn			Cr			Fe		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
фаза 3-4 настоящих листьев																					
корни	0,10	0,148	0,083	2,74	3,0	3,93	33,4	16,9	41,3	37,5	26,5	43,4	73,6	52,3	101,4	4,11	3,91	3,64	1543	1236	1635
листья	0,09	0,018	0,050	1,20	2,6	2,50	7,08	101,8	203,4	15,6	87,5	61,3	401,1	398,8	315,6	0,33	0,67	0,57	55,5	130,0	66,8
фаза бутонизации																					
корни	0,21	0,359	0,146	4,32	3,8	3,78	37,4	35,2	132,2	69,8	49,3	63,4	93,7	95,1	91,4	2,17	4,10	3,64	1700	1728	1313
листья	0,03	0,064	0,030	0,40	0,3	0,67	10,1	127,4	270	20,6	65,0	63,1	398,7	371,9	309,8	0,15	0,48	0,39	56,8	76,3	60,4
фаза цветения																					
корни	0,15	0,330	0,104	2,99	3,6	3,43	23,5	27,1	43,4	31,3	29,2	49,6	167,6	150,0	123,4	1,76	2,02	1,33	2634	1514	1835
листья	0,04	0,079	0,050	0,22	0,5	0,61	3,70	70,5	210,3	21,3	67,5	71,1	299,8	287,1	277	0,18	0,51	0,18	87,3	126,1	79,6
фаза плодоношения																					
корни	0,06	0,090	0,057	1,13	2,2	0,74	32,9	36,4	101,4	27,4	57,3	46,7	96,3	95,40	72,3	0,60	2,13	0,74	1233	2955	1215
листья	0,02	0,021	0,020	0,37	0,4	1,20	6,70	135,9	280,3	15,9	47,3	35,4	301,2	175,1	197,0	0,23	0,45	0,36	150,6	35,3	84,8
ягоды	0,04	0,011	0,012	0,29	0,2	0,37	4,60	8,28	1,97	7,43	8,63	8,00	21,9	26,9	19,8	0,40	0,54	0,43	83,4	81,4	33,4
ПДК [6]	0,03			0,4			5			10			500			0,2					
среднее	0,04	0,041	0,030	0,59	0,9	0,77	14,7	60,1	127,9	16,9	37,7	30,0	139,8	99,13	96,4	0,41	1,04	0,51	489	1024	444,3
ФОН[9]	0,03			0,28			24,5			21,38			46,73			2			336,44		
нормальная концентрация	0,05-2			0,1 - 5			2 - 12			15 - 150			300			0,2 – 1			50 - 250		
Критическая концентрация	5 - 10			10 - 20			15 - 20			150 - 200			500			2			750		
фитотоксичная концентрация	100			60			20			400			500			100			-		

В исследованных вариантах опыта средние значения меди превышены в сравнении с фоновым при внесении минеральных удобрений в 1,1 раза и при добавлении опоки в 1,4 раза. На контрольном варианте накопление меди в корнях растений больше чем в листьях в 4,6 раза, в ягодах в 6,9 раза. Колебания в значениях меди на контроле незначительны, минимальное содержание отмечено в фазу цветения растений. Переход меди в генеративные органы блокируется корнями растений на каждой стадии развития, ее концентрация снижается примерно в 4 раза. На вариантах с внесением минеральных удобрений и добавлении к ним опоки преобладает базипетальный тип распределения металла, концентрация в листьях выше, чем в корнях в 3,8 и 2,4 раза соответственно. В ягодах наблюдается понижение концентрации меди в 13,1 раза на варианте с внесением минеральных удобрений и в 96,9 раза при добавлении опоки. При внесении минеральных удобрений поступление металла в листья растений из корней снижается в фазу 3-4 настоящих листьев в 6,02 раза, фазу бутонизации 3,62 раза, фазу цветения 2,6 раза, фазу плодоношения в 3,7 раза, концентрация ягод на этом варианте превышает ПДК в 1,66 раза. При добавлении к удобрениям опоки накопление меди в растениях возрастает в сравнении с контролем в 1,8 раза, вариантом с минеральными удобрениями в 1,2 раза. Закономерности распределения по фазам развития таковы, что в фазу бутонизации накопление меди повышается в корнях в 3,2 раза, листьях в 1,3 раза, понижается в фазу цветения в 3,0 и 1,3 раза соответственно, в фазу плодоношения повышается в 2,3 раза в корнях и 1,3 раза в листьях. Содержание в ягодах при добавлении опоки в почву ниже ПДК в 2,5 раза.

Концентрация в ягодах Zn не превышает ПДК в ягодах на всех вариантах опыта: на контроле ниже в 1,64 раза, при внесении минеральных удобрений в 1,20 раза, добавлении опоки в 1,25 раза. В растениях содержание цинка превышают фоновые значения на контроле в 1,3 раза, при внесении минеральных удобрений в 2,0 раза, добавлении опоки в 2,4 раза. Учитывая, что фоновая концентрация Zn находится в пределах установленной нормальной концентрации в растениях, можно предположить антропогенный характер за-

грязнения на участке. Внесение минеральных удобрений и опоки способствовало увеличению концентрации цинка в растениях в сравнении с контролем в 1,5 и 1,8 раза соответственно и способствовало ограничению барьерных функций корней: в листья растений на этих вариантах поступало металла больше в 3,6 и 3,1 раза соответственно. В ягоды земляники цинк поступал из листьев на контроле с разницей в 2,1 раза, при внесении минеральных удобрений в 5,5 раза, добавлении опоки в 4,4 раза. На контрольном варианте поступление Zn в растения уменьшалось при наступлении фаз цветения и плодоношения. Разница между содержанием в корнях и листьях в фазу бутонизации равнялась 3,3 раза, в фазу цветения 1,5 раза, плодоношения в 1,7 раза, что свидетельствует о снижении барьерных функций корней. При внесении минеральных удобрений в фазу 3-4 настоящих листьев концентрация Zn в листьях выше таковой в корнях в 3,3 раза, в фазу плодоношения содержание в корнях становится больше в 1,2 раза. Добавление опоки усиливает накопление Zn в растениях в сравнении с контролем в 1,8 раза, внесением только минеральных удобрений в 1,2 раза; способствует увеличению подвижности цинка. В фазу 3-4 настоящих листьев в растениях отмечается преобладание элемента в листьях растений в сравнении с корнями в 1,4 раза. Препарат способствует удержанию Zn в корнях растений, так как в средней концентрации на этой стадии концентрация элемента ниже, чем на варианте с минеральными удобрениями в 1,1 раза. В фазу бутонизации концентрация цинка в корнях и листьях практически одинакова, в фазу цветения преобладание в листьях в 1,4 раза, в фазу плодоношения в корнях содержание становится больше в 1,3 раза.

На исследованных участках значительное превышение концентрации Mn в сравнении с фоновым значением: контрольном в 3,4 раза, вариантах с внесением минеральных удобрений и добавлением опоки в 2,4 и 2,3 раза соответственно. Отмечено преимущественное накопление Mn в листьях растений. Разница с концентрацией в корнях составила на контроле 3,5 раза, варианте с минеральными удобрениями 3,1 раза и при добавлении опоки 2,8 раза. Со-

держание в ягодах ниже значений ПДК на всех изученных вариантах: контрольном в 25,3 раза, с минеральными добавками в 22,8 раза, опоккой в 18,6 раза. На всех изученных вариантах отмечено снижение концентрации в листьях и увеличение в корнях растений, минимальные значения марганца в фазу плодоношения растений. Максимальное содержание Mn обнаружено на контрольном варианте и при внесении минеральных удобрений в фазу бутонизации растений. При добавлении опоки происходит уменьшение поступления Mn по мере развития растений. На контроле корни в среднем концентрируют металла в 1,5 раза больше, чем листья. В фазу 3-4 настоящих листьев разница составила 5,4 раза, в фазу цветения 1,8 раза, плодоношения 3,1 раза, что свидетельствует об ослаблении защитных механизмов корней растений в отношении Mn. На варианте с внесением минеральных удобрений на начальном этапе развития растений разница в накоплении Mn в листьях была выше, чем в корнях в 7,6 раза, в фазу плодоношения в 1,8 раза. При добавлении опоки к минеральным удобрениям распределение марганца в растениях становится относительно равномерным, по изученным стадиям разница в накоплении между корнями и листьями с преимущественным накоплением в листьях составила 3,1; 3,4; 2,2; и 2,7 раза.

Фоновая концентрация хрома в растениях земляники достигает критической концентрации, превышая нормальную концентрацию в растениях в 2 раза. В средних значениях фон не превышен, уровень Cr ниже в 3,3 раза на контроле, в 1,8 раза при внесении минеральных удобрений и в 3,0 раза при добавлении опоки. Отмечено акропетальное поступление Cr в растения с высокой адсорбцией металла в корнях растений. На контроле в фазу 3-4 настоящих листьев незначительное превышение Cr в сравнении с изученными вариантами, в листьях растений содержание элемента ниже, чем в корнях в 12,5 раза, в фазу бутонизации в 14,5 раза, цветения в 9,8 раза, плодоношения в 2,6 раза. При внесении минеральных удобрений в сравнении с контролем листья накапливают больше металла, чем корни, по приведенным фазам развития растений разница составила 5,8; 8,5; 3,9; 4,7 раза. Внесение опоки способно

ограничить поступление Cr в растения и увеличить механизмы защиты в корнях растений земляники. В листьях обнаруживаются меньшие концентрации Cr, разница с содержанием в корнях по изученным стадиям соответственно составила: 6,3; 9,3; 7,4; 2,0 раза. Содержание хрома в ягодах при внесении опоки меньше в сравнении с вариантом внесения минеральных удобрений в 1,3 раза и равна контрольному значению. Фоновые значения железа, установленные для растений земляники, превышают в 1,3 раза нормальную концентрацию в растениях. В растениях изученных вариантов опыта фоновая концентрация железа превышена: на контрольном в 2,6 раза, при внесении минеральных удобрений в 2,5 раза, опоки – в 2,6 раза. Для металла характерен акропетальный тип поступления с высокой аккумуляцией в корнях растений. Концентрация Fe в корнях выше, чем в листьях на контроле в 60,9 раза, при внесении минеральных удобрений в 20,3 раза, при добавлении опоки в 20,2 раза. В стадию 3-4 настоящих листьев корни растений контрольного варианта накапливают элемента больше, чем листья в 27,8 раза, при внесении минеральных удобрений железо подвижнее и это значение равно 9,5 раза, при добавлении опоки 24,5 раза. В фазу бутонизации на контроле и при внесении минеральных удобрений концентрация железа в растениях увеличивается в 1,1 и 1,4 раза соответственно, при добавлении опоки уменьшается в 1,2 раза. Разница между концентрацией в корнях и листьях составила по вариантам: контроль – 29,9 раза, при внесении минеральных удобрений - в 22,6 раза, опоки – в 21,7 раза. Фаза цветения характеризуется высоким содержанием железа на контрольном варианте и при внесении опоки в корнях растений, оно повышается в сравнении с предыдущей фазой в 1,5 раза и в 1,4 раза соответственно и выше, чем в листьях в 30,2 и 23,0 раза. При внесении минеральных удобрений в фазу цветения концентрация железа в корнях снижается в 1,1 раза, выше значений в листьях в 12,0 раза, что свидетельствует о большей подвижности металла. В фазу плодоношения на контроле и при внесении опоки в корнях растений минимальные значения Fe, снижение с предыдущей фазой составило 2,1 и 1,5 раза, в листьях содержание ниже в 8,2

и в 14,4 раза соответственно. Вариант с минеральными удобрениями характеризуется максимальным значением содержания железа в корнях растений на этой стадии развития растений, увеличение составило 2,0 раза, что выше, чем накопление в листьях в 83,7 раза. Защитные механизмы в отношении плода проявляются у растений на всех вариантах опыта, меньше всего железа накапливают ягоды земляники при внесении в почву опоки, ниже, чем на контроле в 2,5 раза и при внесении минеральных удобрений в 2,4 раза.

Для оценки способности избирательного поглощения и накопления химических элементов земляникой садовой были рассчитаны коэффициенты биологического поглощения (КПБ), показывающие во сколько раз содержание элемента в золе растения больше или меньше, чем в почве, на которой произрастает растение (таблица 25, таблица 26).

В наших опытах отмечено накопление Cd и Zn сортом Эльсанта на варианте с минеральными удобрениями в фазу 3-4 настоящих листьев. Накопление Zn происходит на всех фазах развития растений, особенно интенсивно при внесении опоки.

Растениями сорта Эльсанта накапливается медь при внесении в почву опоки. Хоней накапливает Cd в фазу плодоношения на контрольном варианте и при внесении минеральных удобрений.

Для растений сорта Хоней характерно накопление в большей степени меди на варианте с внесением опоки. КПБ меди снижается на контрольном варианте в фазы цветения и плодоношения. У растений этого сорта происходит накопление цинка на всех вариантах опыта при внесении минеральных удобрений, на контроле элемент накапливается в фазу бутонизации, при добавлении опоки КПБ снижается в фазу плодоношения.

Способствовать накоплению Cu и Zn как катионогенных элементов могут образующиеся растворимые комплексы в почве с карбонатами и бикарбонатами.

Таблица 25 - Коэффициенты биологического поглощения для растений земляники садовой сорта Эльсанта

Варианты опыта	Cd	Pb	Cu	Zn	Mn	Cr	Fe
фаза 3-4 настоящих листьев							
контроль	0,11	0,05	0,31	0,75	0,46	0,04	0,05
+ минеральные удобрения	1,07	0,08	0,60	1,30	0,28	0,09	0,03
+ минеральные удобрения +опока	0,16	0,16	1,44	1,57	0,43	0,06	0,07
фаза бутонизации							
контроль	0,14	0,11	0,40	1,05	0,53	0,03	0,05
+ минеральные удобрения	0,23	0,08	0,46	1,04	0,44	0,10	0,05
+ минеральные удобрения +опока	0,16	0,13	1,01	1,71	0,33	0,11	0,05
фаза цветения							
контроль	0,13	0,07	0,26	0,67	0,52	0,10	0,09
+ минеральные удобрения	0,20	0,13	0,27	0,93	0,36	0,11	0,05
+ минеральные удобрения +опока	0,14	0,15	1,00	1,64	0,34	0,09	0,06
фаза плодоношения							
контроль	0,11	0,05	0,38	1,23	0,36	0,04	0,06
+ минеральные удобрения	0,11	0,09	0,65	1,15	0,21	0,16	0,05
+ минеральные удобрения +опока	0,11	0,18	1,42	3,84	0,28	0,05	0,04

Таблица 26 - Коэффициенты биологического поглощения для растений земляники садовой сорта Хоней

Варианты опыта	Cd	Pb	Cu	Zn	Mn	Cr	Fe
фаза 3-4 настоящих листьев							
контроль	0,38	0,15	1,18	0,72	0,71	0,35	0,05
+ минеральные удобрения	0,29	0,21	3,12	1,55	0,74	0,34	0,04
+ минеральные удобрения +опока	0,22	0,43	7,11	1,65	0,69	0,17	0,05
фаза бутонизации							
контроль	0,41	0,20	1,41	1,23	0,62	0,14	0,07
+ минеральные удобрения	0,73	0,16	4,84	1,56	0,64	0,21	0,08
+ минеральные удобрения +опока	0,28	0,19	13,6	1,89	0,59	0,21	0,05
фаза цветения							
контроль	0,27	0,15	0,72	0,72	0,59	0,08	0,07
+ минеральные удобрения	0,64	0,16	2,73	1,31	0,57	0,14	0,06
+ минеральные удобрения +опока	0,26	0,16	8,13	1,83	0,55	0,10	0,07
фаза плодоношения							
контроль	1,26	0,07	0,79	0,46	0,35	0,05	0,04
+ минеральные удобрения	1,13	0,08	3,64	1,03	0,27	0,13	0,07
+ минеральные удобрения +опока	0,85	0,07	9,14	0,90	0,27	0,06	0,03

5 Оценка экономической эффективности использования минеральных удобрений и опал-кристобалитовой породы (опоки) для получения экологически безопасной продукции земляникой садовой

Урожайность сортов увеличивалась при внесении минеральных удобрений (таблица 27).

Таблица 27 - Экономическая эффективность сортов земляники садовой

Сорт/ вариант	Средняя урожай- ность за 3 го- да, т/га	Стоимость реализа- ции уро- жая с 1 га, тыс.руб.	Производственные затраты на 1 га, тыс. руб	При- быль с 1га, тыс. руб.	Рен- та- бель ност ь, %
контроль					
Эльсанта	12,0	1380,0	850	530,0	62
Хоней	10,9	1253,5	724	529,5	73
Мармолада	13,0	1495,0	877	618,0	70
+ минеральные удобрения					
Эльсанта	12,8	1472,0	880	592,0	67
Хоней	11,5	1322,5	754	568,5	75
Мармолада	15,4	1771,0	907	864,0	95
+ минеральные удобрения +опока					
Эльсанта	12,2	1403,0	872	531,0	61
Хоней	11,4	1311,0	750	561,0	75
Мармолада	14,3	1644,5	883	761,5	86

При внесении минеральной подкормки происходило увеличение урожая на 2,4 т/га у сорта Мармолада, на 0,8 т/га у сорта Эльсанта и на 0,6 т/га у сорта Хоней. Внесение опоки снижало урожайность у сорта Эльсанта на 0,6 т/га, у сорта Хоней на 0,1 т/га, у сорта Мармолада на 1,1 т/га. Таким образом, наименьшие потери в урожае при внесении опоки у сорта Хоней, большую чувствительность проявили растения сорта Мармолада.

Рентабельность возделывания земляники на всех вариантах опыта не превышала 100%. Показатели экономической эффективности для сорта Эльсанта увеличивались с внесением минеральных удобрений на 5 % и снижа-

лись при внесении опоки на 1% в сравнении с контролем. У растений сорта Хоней рентабельность увеличилась на 2 % относительно контрольных показателей, как при внесении минеральных удобрений, так и при внесении опоки.

Уровень экономической эффективности у сорта Мармелада повышается при использовании минеральных удобрений и опоки соответственно на 25% и 16%. Данный сорт оказался наиболее отзывчивым на минеральные удобрения и опоку, поскольку урожайность увеличилась в большей степени, чем по другим сортам. Максимальный доход от урожая растений изученных сортов получается при внесении минеральных удобрений, при внесении опоки экономическая эффективность оказывается ниже, но значительно превышает контрольные значения.

Следует отметить, что дополнительные затраты по предлагаемой нами технологии полностью покрываются за счет увеличения урожайности и качества изучаемых растений и способствуют повышению экономической эффективности их возделывания.

Выводы

1. Динамика основных агрохимических показателей черноземов обыкновенных при внесении минеральной подкормки для выращиваемой на них земляники садовой в расчетной дозе $N_{60}P_{80}K_{120}$ проявилась в снижении уровня рН (7,1-6,8); уменьшении содержания гумуса с ежегодной потерей 0,2%; разнонаправленными колебаниями в содержании подвижного фосфора, в оптимизации уровня подвижного калия; в снижении содержания легкогидролизуемого азота с четвертого года возделывания.

2. В период исследований валовое содержание изученных тяжелых металлов (меди, цинка, свинца, кадмия, хрома, марганца, железа) в почве промышленной плантации земляники садовой не превышало ПДК и региональ-

ные фоновые концентрации, но не оставалось неизменным: снизилось содержание марганца в 1,29 раза, цинка – в 1,15 раза, кадмия – в 2,4 раза, свинца – в 1,04 раза от исходного; содержание меди возросло в 1,15 раза, что свидетельствует о ее слабом техногенном привнесении. В целом суммарный показатель загрязнения почвы валовой формой тяжелых металлов (Zс) снизился в 2,1 раза.

3. В изученных почвах наиболее подвижными элементами являются кадмий (18,1%) и цинк (11,65%), наименее подвижными – медь (1,05%) и хром (1,2%) при уровне их содержания, не превышающем ПДК. Выше фоновых концентраций присутствуют подвижные формы кадмия (в 1,35 раза), меди (в 1,30 раза), цинка (в 1,6 раза) и марганца (в 1,14 раза), содержание подвижного свинца соответствует фону. За период эксплуатации производственного участка в его почве значительно снизились уровни накопления подвижных форм свинца (в 6,4) и кадмия (в 5,4), возросли марганца (в 2,5), цинка (в 1,9), меди (в 1,13).

4. Аккумуляция валовых и подвижных форм тяжелых металлов происходит не в гумусовом, а в ниже лежащих почвенных горизонтах с максимальными концентрациями на глубине 120-150 см, что свидетельствует о высокой миграционной способности меди, цинка, свинца, кадмия, марганца, железа и преобладании нисходящих миграционных потоков. Исключением является хром, который накапливается в верхнем почвенном горизонте.

5. В условиях южной зоны Самарской области изучаемые сорта земляники садовой по срокам созревания урожая распределяются следующим образом: Хоней - ранний, Эльсанта - средний, Мармолада - поздний. Наиболее высокоурожайным среди них является сорт Мармолада (13,0 т/га), несколько ниже урожайность у сортов Эльсанта (11,9 т/га) и Хоней (10,9 т/га).

6. Применение интенсивных технологий в период с 2008 по 2013 гг. привело к снижению концентраций тяжелых металлов в надземной фитомассе земляники садовой: цинка в 1,55 раз, марганца в 40,9 раз, железа в 12,5 раз, увеличению содержания свинца в 3,7 раза, меди в 2,5 раза, кадмия в 1,9

раза. Более устойчивыми к избыточному накоплению тяжелых металлов является сорт земляники Эльсанта, что подтверждает убывающий ряд, построенный по их суммарному накоплению: Мармолада (258 мг/кг) > Хоней (209,1 мг/кг) > Эльсанта (128,84 мг/кг). Элементом биологического накопления земляники садовой является Си.

6. В фитомассе исследуемых сортов земляники садовой превышены нормальные концентрации меди и цинка: Хоней в 3,2 и в 2,2 раза; Мармолада в 4,2 и в 2,5 раза; Эльсанта в 1,85 и в 1,4 раза. Максимальное содержание элементов накапливается в корнях растений (суммарно по изученным металлам 1175,9 мг/кг) и листьях (суммарно 443,2 мг/кг), минимальное в ягодах (87,7 мг/кг). В ягодах изученных сортов отмечается повышенное содержание хрома, превышающее ПДК: сорт Хоней в 2,7 раза, Мармолада в 3,8 раза, Эльсанта в 2,8 раза. Концентрации кадмия, свинца, меди, цинка, марганца, железа в плодах сортов Эльсанта и Хоней не превышают ПДК и фоновых значений. В плодах сорта Мармолада концентрация свинца установлена на уровне ПДК, а содержание Fe превышено в 1,4 раза.

7. Максимальная аккумуляция кадмия, свинца, марганца и хрома происходит на стадии бутонизации земляники садовой; меди, свинца, цинка и железа - в период плодоношения и преимущественно в корнях растений. Действие минеральной подкормки увеличивает поступление хрома в ягоды в сравнении с ПДК у сорта Хоней в 2,9 раза, у сорта Эльсанта в 2,7 раза, добавление опоки у сорта Хоней в 2,1 раза, сорта Эльсанта в 2,0 раза. Внесение опоки в сочетании с минеральными подкормками способствует снижению содержания в ягодах сорта Эльсанта кадмия, марганца, хрома, повышению цинка, меди, свинца; в ягодах сорта Хоней понижается уровень кадмия, свинца, цинка, марганца, хрома, железа; повышается содержание меди.

Рекомендации производству

В условиях засушливого континентального климата степной зоны Самарской области на черноземах обыкновенных для промышленного возделывания в системе капельного полива и применения минеральных удобрений рекомендуем выращивать урожайные, экологически устойчивые сорта Эльсанта, Хоней, Мармолада.

В условиях применения интенсивных технологий возделывания и увеличении риска техногенного загрязнения ягодной продукции земляники садовой однократно вносить в качестве средства мелиорации загрязненных почв опал-кристаллитовую высококремнистую породу (опоку) Балашейского месторождения Сызранского района Самарской области в дозе 50 кг/га.

Список использованной литературы

1. Титов, А. Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам / А. Ф. Титов, В. В. Таланова, Н. М. Казнина // Институт биологии КарНЦ РАН. Петрозаводск, 2007. – 172 с.
2. Теплая, Г. А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды / Г. А. Теплая // Астраханский вестник экологического образования, №1(23) - 2013. - С. 182 - 192.
3. Воскресенская, О. Л. Большой практикум по биоэкологии / О. Л. Воскресенская, Е. А. Алябышева, М. Г. Половникова // Мар.гос.ун-т. Йошкар-Ола, 2006. – 107 с.
4. Кабата-Пендиас, А. Проблемы современной биогеохимии микроэлементов / А. Кабата-Пендиас // Российский химический журнал (Ж.Рос.хим об-ва им. Д.И. Менделеева). - № 3 – 2005. - С. 15 - 19.
5. Дабахова, М. В. Экотоксикология и проблемы нормирования / М. В. Дабахова, Е. В. Дабахова, В. И. Титова // Нижегородская гос.с.-х. академия. Изд-во ВВФГС. - 2005. – 165 с.
6. Матвеев, Н. М. Экологические основы аккумуляции тяжелых металлов сельскохозяйственными растениями в лесостепном и степном Поволжье / Н. М. Матвеев, В. А. Павловский, Н. В. Прохорова // Самара: Изд-во «Самарский университет». - 1997. – 215 с.
7. Майстренко, В. Н. Эколого-аналитический мониторинг супертоксикантов / В. Н. Майстренко, Р. З. Хамитов, Г. К. Будников // М.: Химия, 1996. - 319 с.
8. Алексеев, Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю.В. Алексеев // Научно-практическое пособие. Ленинград. - 1987. – 140 с.
9. Абросимова, Г. В. Формирование микроэлементного состава и свойств почвы в условиях города под модельными фитоценозами (на примере лизиметров почвенного стационара МГУ): диссертация ... кандидата биологических наук: 03.02.08 / Абросимова Галина Викторовна- Москва, 2016. -130 с.

10. Ильин, В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. - Новосибирск, 1991. – 147 с.
11. Прохорова, Н. В. К вопросу о фоновой концентрации в почвах Самарской области / Н.В. Прохорова // Самарская Лука: Бюлл. – Самара, -2002. - №2. – С. 145 – 149.
12. Андрусина, И. Н. Опасен ли свинец в воде? / И. Н. Андрусина, И. А. Голуб, З. В. Малецкий, И. П. Лубянова // Киев. - 2016. – С. 28.
13. Таирова, А. Р. Химические элементы в биосфере / А. Р. Таирова, А. И. Кузнецов // Троицк: Изд-во УГАВМ. - 2006. – 204 с.
14. Колесников, В. А. Оценка содержания тяжелых металлов (свинец и кадмий) в семенах перспективных кормовых растений / А. В. Колесников, А. А. Аветисян // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. - № 4. - 2015. – С. 10 - 14.
15. Лукин, С. В. Агроэкологическое состояние пахотных почв степной зоны Белгородской области / С. В. Лукин, О. С. Верютина, Н. И. Корнейко // Достижения науки и техники АПК. - № 6 – 2008. - С. 34 - 35.
16. Кожанова, О. Н. Физиологическая роль металлов в жизнедеятельности растительных организмов / О. Н. Кожанова, А. Г. Дмитриева // Физиология растительных организмов и роль металлов. М.: МГУ. - 1989. - С. 7 – 55.
17. Калдыбаев, Б. К. Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами в Северо-Восточной части Прииссыкукулья / Б. К. Калдыбаев, Т. П. Костюк, А. Б. Бигалиев // Вестник КазГУ, сер. Экологическая. – 1999. - № 5 – С. 154 – 159.
18. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях: пер. с англ. // А.Кабата-Пендиас, Х.Пендиас / М.: Мир. - 1989. - 439 с.
19. Surai, P. F. Selenium in Nutrition and health / P.F. Surai. – Nottingham press. - 2006. - 974 p.
20. Xue, G. P. Characterisation of the DNA-binding profile of barley HvCBF1 using an enzymatic method for rapid, quantities and high-throughput

analysis of the DNA-binding activity / G.P. Xue // *Nucleic. Acids Res.* 2002. V. 30, N 15.

21. Лебедев, Ю. А. Второе дыхание марафонца (о свинце) / Ю. А. Лебедев // М.: Изд-во: Металлургия. - 1990. - 144 с.

22. Черняков, А. И. Аккумуляция кадмия картофелем, выращиваемом в южной зоне Самарской области / А. И. Черняков, Н. М. Троц // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки. Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. - Челябинск - 2016. - С. 261 - 264.

23. Сергеев, О. В. Вещества, нарушающие работу эндокринной системы: состояние проблемы и возможные направления работы / О. В. Сергеев, О. А. Сперанская // Самара: ООО «Издательство АсГард». - 2014. – 35 с.

24. Ильин, В. Б. К оценке массопотока тяжелых металлов в системе почва-сельскохозяйственная культура / В. Б. Ильин // *Агрехимия.* - 2006 - № 3. - С. 52 - 59.

25. Казнина, Н. М. Влияние кадмия на физиологические процессы и продуктивность растений семейства *Roaseae* // Н. М. Казнина, А. Ф. Титов / *Успехи современной биологии.* - № 6. - Т. 133 – 2013 - С. 588 - 603.

26. Киршибаев, Е. А. Распределение тяжелых металлов по органам подсолнечника, выращенного в условиях техногенного загрязнения почв / Е. А. Киршибаев, Б. А. Сарсенбаев, Г. А. Байсеитова, Н. К. Нокербекова, М. Камонур // *ҚазҰУ хабаршысы. Биология сериясы.* - № 3 (55). - 2012 – С. 68-72.

27. Самогуга, В. В. Оцінка ризику для здоров'я населення в зв'язку з викидами канцерогенних речовин автотранспортом / В. В. Самогуга, К. П. Малоног, Ю. Г. Бондаренко, О. М. Литвиченко // *Актуальные проблемы транспортной медицины.* – 2006. - № 3 (5). – С. 118 - 122.

28. Титова, В. И. Агро- и биохимические методы исследования состояния экосистем: учеб. пособие для вузов / В. И. Титова, Е. В. Дабахова,

М. В. Дабахов // Нижегородская гос. с.-х. академия. - Н. Новгород: Изд.-во ВВАГС. - 2011. - 170 с.

29. Бурдуковский, М. Л. Накопление и вынос элементов питания и тяжелых металлов растениями сои на почвах юга Дальнего Востока / М. Л. Бурдуковский, В. И. Голов // Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. Выпуск 1 (146 - 147) - 2011 – С. 90 - 100.

30. Тиньков, А. А. Особенности кумуляции железа и меди в жировой ткани экспериментальных животных / А. А. Тиньков, А. А. Никоноров // Микроэлементы в медицине. - № 13 (4) – 2012 – С. 38 - 41.

31. Панин, М. С. Формы соединений тяжелых металлов в почвах средней полосы Восточного Казахстана / М. С. Панин // Семипалатинск: «Государственный университет Семей». - 1999. - 329 с.

32. Ковда, В. А. Биогеохимия почвенного покрова / В. А. Ковда // М.: Наука. - 1985. – 263 с.

33. Шеуджен, А.Х. Биогеохимия / А. Х. Шеуджен // Майкоп: ГУРИПП «Адыгя». - 2003 – 1028 с.

34. Рубилин, Е. В. Микроэлементы в почвах Северного Кавказа / Е. В. Рубилин // Л.: 1968. - 56 с.

35. Тонконоженко, Е. В. Микроэлементы в почвах Кубани и применение микроудобрений / Е. В. Тонконоженко // Краснодар: Кн. изд-во. - 1973. - 111 с.

36. Протасова, Н. А. Редкие и рассеянные элементы в почвах Центрального Черноземья / Н. А. Протасова, А. П. Щербаков, М. Т. Копаева // Изд-во Воронежского университета. - Воронеж – 1992 - 168 с.

37. Протасова, Н. А. Почвенно-геохимическое районирование Воронежской области / Н. А. Протасова, М. Т. Копаева // Почвоведение. - № 4 - 1995. - С. 446 - 453.

38. Курода, П. Геохимия редких элементов / П. Курода, Э. Сэнделл // М.: Наука. - 1959. - С. 132 - 139.

39. Антипов – Каратаев, И. Н. Вопросы происхождения и географического распространения солонцов / И.Н. Антипов - Каратаев // Мелиорация солонцов в СССР. - М.: Изд-во АН СССР. - 1953. – 266 с.

40. Пейве, Я. В. Избр.тр.: Агрохимия и биохимия микроэлементов / Я. В. Пейве // М.:Наука. - 1980. - 430 с.

41. Дымова, Е.А. Трансформация микроэлементного состояния хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы под действием различных систем удобрения : дисс. . канд. сельскохозяйственных наук : 06.01.04. / Дымова Елена Анфиногеновна- Великие Луки, 2006.- 167 с.

42. Анспок, П. И. Рациональные способы использования микроэлементов в Латвии / П. И. Анспок // Агрохимия. – 1990. – № 11. – С. 27 - 30.

43. Скальный, А. В. Аккумуляция тяжелых металлов и микроэлементов в волосах населения Оренбургской области / А. В. Скальный, Е. В. Сальникова, Е. А. Кудрявцева, А. С. Кустова // Микроэлементы в медицине 13 (4) - 2012. - С. 42 - 45.

44. Чертко, Н. К. Геохимия и экология химических элементов: справочное пособие / Н. К. Чертко, Э. Н. Чертко // Мн.: Издательский центр БГУ, 2008. - 140 с.

45. Михайлова, Л. А. Агрохимия: курс лекций. В 3 ч. Ч 1.Удобрения: виды, свойства, химический состав / Л.А. Михайлова // М-во с.-х. РФ, федеральное гос. бюджетное образоват. учреждение высшего. образов. «Пермская гос. с.-х. акад. им. акад. Д.Н. Прянишникова». - Пермь: ИПЦ «Прокрость». - 2015. - 426 с.

46. Климентова, Е. Г. Физиология растений: Учебное пособие для студентов направления бакалавриата 02190 – Почвоведение, 020400 - Биология / Климентова Е. Г., Рассадина Е. В., Антонова Ж. А //– Ульяновск: УлГУ. - 2014. – 170 с.

47. Халиуллина, С. В. Клиническое значение дефицита цинка в организме ребенка / С.В. Халиуллина // Вестник современной клинической медицины. - Вып.13. - Т. 6 - 2013 - С. 72 - 78.

48. Евдокимова, В. П. Особенности накопления железа и марганца в почвах городов Архангельской промышленной агломерации / В. П. Евдокимова, Л. Ф. Попова, И. Н. Бечина, Т. В. Усачева // Вестник Московского государственного областного университета, серия: естественные науки. - № 4 – 2012 - С. 99 - 104.
49. Смирнова, Л. А. Дефицит железа: биология, критерии диагноза и эффективности терапии / Л. А. Смирнова // Медицинские новости. - № 5 - 2013 - С.16-20.
50. Донченко, Л. В. Безопасность пищевой продукции: Учебник / Л. В. Донченко, В. Д. Надыкта // М.:ДеЛи принт. - 2005. – 539 с.
51. Горелова, О. М. Исследования по утилизации избыточного активного ила / О. М. Горелова, К. Ю. Титова // Ползуновский вестник. - № 4. - Т. 1. - 2015 – С. 114 - 118.
52. Бектурганова, Н. Е. Почвенная химия. Учебное пособие / Н. Е. Бектурганова // Алматы: изд-во «LEM». - 2015. – 100 с.
53. Копылова, Л. В. Аккумуляция железа и марганца в листьях древесных растений в техногенных районах Забайкальского края / Л. В. Копылова // Известия Самарского научного центра РАН. - Т. 12. - № 1 (3). – 2010 – С. 709 – 712.
54. Ильин, В. Б. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях / В. Б. Ильин, А. И. Сысо // Новосибирск: изд-во СО РАН. - 2001. – 229 с.
55. Капитонова, О. А. Содержание тяжелых металлов в макрофитах рыбохозяйственных прудов СГУП «Рыбхоз «Пихтовка» (Удмуртская Республика) / О. А. Капитонова, В. С. Шалавина, А. В. Алтынцев // Известия Самарского научного центра РАН. - Т. 16. - № 1. – 2014 – С. 255 – 260.
56. Водянский, Ю. Н. Роль соединений железа в закреплении тяжелых металлов и металлоидов в почвах / Ю.Н. Водянский // Почвоведение. - № 5 – 2010 – С. 558 - 572.

57. Орлов, Д. С. Микроэлементы в почвах и живых организмах / Д. С. Орлов // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – № 1. – С. 61 - 68.
58. Ноздрюхина, Л. Р. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека / Л. Р. Ноздрюхина // М.: Наука. - 1977. – 184 с.
59. Ноздрюхина, Л. Р. Нарушение микроэлементного обмена и пути его коррекции / Л. Р. Ноздрюхина, Гринкевич Н. И. // М.: Наука. - 1980. – 280 с.
60. Яворская, В. А. Марганцевая токсическая энцефалопатия: патогенез, клиника, лечение / В. А. Яворская, О. Л. Пелехова, А. В. Гребенюк, С. А. Кривчун // Международный медицинский журнал. - № 4 – 2005 – С. 52 – 55.
61. Смашевский, Н. Д. Экология фотосинтеза / Н. Д. Смашевский // Астраханский вестник экологического образования. - № 2 (28) - 2014 – С. 165 - 180.
62. Huffmann, E. W. D. Growth of plants of Solution Culture Containing Low Levels of Chromium / E. W. D. Huffmann, W. H. Allaway // Pl. Physiol. – 1973. – Vol. 52. - N 1. – P. 72 – 75.
63. Мусиенко, Н. Н. Корневое питание растений / Мусиенко Н. Н., Тернавский А. И. // К.: Вища школа. - 1989. - 203 с.
64. Диксон, М. Ферменты / Диксон М., Уэбб Э. // М.: Мир. - 1982. - 1120 с.
65. Виноградов, А. П. Основные закономерности в распределении микроэлементов между растениями и средой / А. П. Виноградов // Микроэлементы в жизни растений и животных. – М.: Изд-во АН СССР. - 1952. - С. 7 - 20.
66. Verloo, M. Analytical and biological criteria with regard to soil pollution / M. Verloo, G. van Landschoot // Landwirtschaftliche Forschung Kongressband. – S-N. 39. - 1982. - S. 394 - 403.
67. Щеглов, А. Т. Влияние хрома на некоторые физиологические показатели у кукурузы / А. Т. Щеглов // Применение удобрений, микроэлементов и регуляторов роста в сельском хозяйстве: науч. труды. Ставропольского

сельскохозяйственного ин-та. - Выпуск 44, Т. 1. – Ставрополь. - 1981. - С. 35 - 40.

68. Скорбач, В. В. Влияние экстрактов лекарственных растений *Chelidonium* и *Majs Medikago* на рост и развитие *Sativa Escherichia Coli* / В. В. Скорбач, А. Е. Доценко // Современные тенденции развития науки и технологий. Материалы XI Международной научно-тех. конференции. – Белгород. - 29. 02. 2016 - С. 75 - 78.

69. Baker, A. J. Accumulators and excluders – strategies in the response of plants to heavy metals // *J. Plant Nutr.* – 1981. – № 3. - P. 643 - 654.

70. Серегин, И. В. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высших растения / И. В. Серегин, В. Б. Иванов // *Физиол. раст.* – 2001. - Т. 48. - № 4. - С. 606 - 630.

71. Опекунова, М. Г. Биоиндикация загрязнителей: учебное пособие / М. Г. Опекунова // СПб. Издательство С.-Петербургского университета. - 200. – 266 с.

72. Ларионов, М. В. Особенности накопления тяжелых металлов в почвенных экосистемах Саратовского Поволжья / М. В. Ларионов, Н. В. Ларионов // *Вестник ОГУ.* - № 1 (107). – 2010. - С. 110 - 114.

73. Ветрова, О. А. Накопление тяжелых металлов в органах земляники садовой в условиях техногенного загрязнения / О. А. Ветрова, М. Н. Кузнецов, Е. В. Леоничева, С. М. Мотылева, М. Е. Мертвищева // *Сельскохозяйственная биология.* – 2014. - № 3 (36). – С. 76 – 79.

74. Вахмистров, Д. Б. Исследования механизмов поглощения солей растениями // Д. Б. Вахмистров / *Агрехимия.* -1968. - С. 151 - 163.

75. Третьяков, Н. Н. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / Н. Н.Титов, Е. И. Кошкин, Н. М. Макрушин и др. // М.: Колос, 2000 – 640 с.

76. Титов, А. Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам / А. Ф. Третьяков, В. В. Таланова, Н. М. Казнина, Г. Ф. Лайдинен // *Институт*

биологии КарНЦ РАН. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН.
- 2007 – 172 с.

77. Чернаская, Н. М. Физиология растительных организмов и роль металлов / Н. М. Чернаская, О. Н. Кожанова, А. Г. Дмитриева // М.: Изд-во МГУ. - 1989. – 157 с.

78. Комарницкий, Н. А. Ботаника: систематика растений / Н. А. Комарницкий, Л. В. Кудряшов, А. А. Уранов // – М.: Книга по Требованию. - 2012. – 610 с.

79. Хапова, С. А. Особенности сортов земляники садовой в защищенном и открытом грунте / С. А. Хапова, Н. М. Майдебур, Е. И. Шибяев // Вестник АПК Верхневолжья. - 2009. - № 2. – С. 7 - 11.

80. Копылов, В. И. Земляника / В. И. Копылов // Симферополь: ПолиПРЕСС. - 2007 - 368 с.

81. Глебова, Е. И. Ягодный сад / Е. И. Глебова, В. В. Даньков, М. М. Скрипниченко // М. Жанр: Садоводство Издательство: Лениздат. - 1990 – 129 с.

82. Яковенко, В. В. Продуктивность земляники садовой в условиях Краснодарского края / В. В. Яковенко, В. И. Лапшин // Современное садоводство - № 3. - 2014 - С. 53 - 59.

83. Хапова, С. А. Применение биопрепаратов при культивировании земляники садовой / С. А. Хапова, В. И. Деменко // Вестник РАСХН. – 2013. № 3. – С. 52 – 54.

84. Роева, Т. А. Влияние мелиорантов и метеоусловий на поступление тяжёлых металлов в ягоды смородины чёрной / Т. А. Роева, С. М. Мотылёва // Современное садоводство - № 1. - 2013. - С. 1 - 12.

85. Кузнецов, М. Н. Способ снижения содержания тяжелых металлов в ягодах смородины черной / М. Н. Кузнецов, Т. А. Роева, Е. В. Леоничева, С. М. Мотылёва // Бюллетень ГНУ ВНИИСПК Россельхозакадемии - № 3 - 2011. – С. 1 - 5.

86. Соколова, Т. А. Взаимодействие лесных суглинистых почв с модельными кислыми осадками и кислотнo-основная буферность подзолистых почв / Т. А. Соколова, Т. Я. Дронова, И. И. Топешта, С. Е. Иванова // М.: Изд. Моск. ун-та. - 2001. – 208 с.

87. Федосова, И. В. Распределение микроэлементов-биофилов и тяжелых металлов в системе почва-растение в урбанизированной среде / Ю. М. Злобина, И. В. Федосова // Альманах молодой науки - № 4. – Оренбург. - 2013. – С. 9 - 12.

88. Деннер, В. А. Особенности накопления свинца и кадмия в плодах смородины чёрной и рябины обыкновенной в Оренбургской области / В. А. Деннер, П. С. Федюнина // International Scientific Review № 1 (11) / Modern Science and Education: IX International Science Conference (United Kingdom, London, 13-14 January, 2016). - С. 123 – 125.

89. Астракова Т. В. Определение ионов тяжелых металлов в ягодах облепихи / Т. В. Астракова, Н. В. Хитова // Техника и технология пищевых производств - № 1 (32), Кемерово - 2014. – С. 121 - 125.

90. Вохмянина, А. С. Тяжелые металлы в почвах виноградников: уровни содержания, процессы миграции и транслокации / А. С. Вохмянина, Е. Н. Дрозд, Ю. Ю. Выставная // Материалы международной научно-практической Интернет-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития территорий: теория и практика». – Харьков. - 2013. – С. 15 - 17.

91. Манторова, Г. Ф. Тяжелые металлы в почве и растительной продукции в условиях техногенного загрязнения / Г. Ф. Манторова // Агро XXI - № 1 – 3. – Челябинск. - 2010. - С. 52 - 54.

92. Саякова, Г. М. Современные методы тяжелых металлов в лекарственном растительном сырье – жимолости Алтайской (*Lonicera Altaica*), семейства (*Caprifoliaceae*) / Г. М. Саякова, Н. В. Алексеева – Попова, А. И. Беляева // Вестник КазНМУ. - № 4. - 2015.

93. Троц, Н. М. Особенности аккумуляции макроэлементов и тяжелых металлов в почве и растениях земляники садовой (*Fragaria Ananassa*) / Н. М. Троц, С. В. Ишкова, А. В. Батманов, Д. А. Ахматов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2012. - Т. 14. - № 1. – С. 149 - 152.

94. Антипенко, М. И. Интродуцированные сорта земляники садовой в условиях Самарской области / М.И. Антипенко // Актуальные проблемы аграрной науки и пути их решения: сборник научных трудов. – Кинель: РИЦ СГСХА. – 2015. – С. 54 – 56.

95. Муханин, И. В. Влияние применения различных комплексов специальных машин для закладки плантации земляники садовой на ее продуктивность / И. В. Муханин, О. В. Жбанова, А. И. Миляев // Современные тенденции развития промышленного садоводства / ООО «Издательство Ас Гард». Самара. - 2012. – С. 242 - 247.

96. Муханин, И. В. Интегрированная технология производства ягод земляники / И. В. Муханин, О. В. Жбанова, И. М. Зуева // Тамбов: Сельский консультант Тамбовщины. Выпуск 5 (7). - 2011. – С. 2 - 3.

97. Муханин, И. В. Система производства высококачественных ягод земляники / И. В. Муханин, О. В. Жбанова, И. М. Зуева // Садоводству России – инновационный путь развития: Материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию со дня рождения доктора с.-х. наук, профессора В. Г. Муханина 25 - 27 февраля 2010 г. Изд. МичГАУ. - Мичуринск-наукоград. - 2010. – С. 98 - 106.

98. Муханин, И. В. Фертигация – основа интенсивной технологии выращивания земляники садовой / И. В. Муханин, О. В. Жбанова // Плодоводство и ягодоводство России. - Т. 30. - С. 138 - 151.

99. Муханин, И. В. Экономический анализ различных интенсивных технологий производства земляники садовой / И. В. Муханин, О. В. Жбанова, А. И. Миляев // Садоводство Поволжья – роль и место в Государственной

программе развития сельского хозяйства на 2013-2012 гг.. Саратов. - 2013 - С. – 68 - 76.

100. Авдеева, З. А. Оценка устойчивости сортов земляники к белой и бурой пятнистостям листьев в условиях Оренбуржья / З. А. Авдеева // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. - № 1 (5). – 2013. - С. 74 - 78.

101. Прохорова, Н. В. Территориальные особенности распределения тяжелых металлов в почвах Самарской области / Н. В. Прохорова, Н. М. Матвеев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - Т. 2. - № 2 – 2000 - С. 306 - 310.

102. Тойгильдина, И. А. Влияние опоки и ее смесей с мочевиной на урожайность и качество сахарной свеклы / И. А. Тойгильдина, А. В. Кудряшов // Материалы Международной научной конференции. – Нижний Новгород, 2008. – С. 221 – 224.

103. Бодня, М. С. Влияние опок Астраханской области на ионный состав почвы / М. С. Бодня // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - № 5 (2). - Т. 13 – 2011 – С. 140 - 142.

104. Алексеенко, В. А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых / В. А. Алексеенко // – М.: Логос. - 2000. – С. 11 - 46.

105. Муравин, Э. А. Практикум по агрохимии / Э. А. Муравин // – М.: Колос. - 2005. – 288 с.

106. Пустовой, И. В. Практикум по агрохимии / И. В. Пустовой, В. И. Филин, А. В. Корольков // – М.: Колос. - 1995. – 336 с.

107. Минеев, В. Г. Практикум по агрохимии / В.Г. Минеев // М.: МГУ. - 2001 – 689 с.

108. Золотов, Ю. А. Основы аналитической химии / Ю. А. Золотов // М.: Высш. шк. - 2000 – 494 с.

109. Золотов, Ю. А. Основы аналитической химии. Практическое руководство / Ю. А. Золотов // М.: Высш. шк. - 2001 – 480 с.

110. Кунце, У. Основы качественного и количественного анализа

/ У. Кунце, Г. Шведт // Пер. с нем. М.: Мир. - 1997 – 424 с.

111. Методические указания по атомно-абсорбционным методам определения токсичных элементов в пищевых продуктах и пищевом сырье. – М.: Изд-во Государственного комитета санэпиднадзора РФ. - 1992. – 35 с.

112. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов // – М.: Агропромиздат. - 1985. – 351 с.

113. Говорова, Г. Ф. Ягодные культуры / Г. Ф. Говорова // - Краснодар: Краснодарское книжное издательство. - 1966 – 232 с.

114. Мотылёва, С. М. Особенности содержания тяжёлых металлов (Pb, Ni, Zn, Fe, Cu) в плодах, ягодах и атмосферных осадках в связи с оценкой сортов для использования в селекции: специальность 06.01.05 «Селекция и семеноводство», 03.00.04 «Биохимия»: автореф. на соиск. учен. ст. канд. с. – х. наук / Мотылева Светлана Михайловна. – Орел, 2000. – 23 с.

115. Андреева, Г. В. Уточнение сортовой агротехники земляники // Г. В. Андреева, И. И. Богданова / Роль сортов и новых технологий в интенсивном садоводстве. - Орел: Изд-во ГНУ ВНИИСПК. - 2003. - 408 с.

116. Трунов, В. Ю. Минеральное питание плодовых растений и баланс элементов в агроэкосистемах / В. Ю. Трунов // Главный агроном. - 2007. - № 8. - С. 39 - 42.

117. Бочарова, Т. Е. Биохимический состав жимолости в условиях тамбовской области / Т. Е. Бочарова, В. Ю. Трунов // Университет им. В. И. Вернадского. - №4 (10) – 2007 – С. 56 – 60.

118. Власова, С. Е. Влияние минерального питания на плодоносящие маточные растения земляники садовой / С. Е. Власова, С. А. Хапова // Ярославский педагогический вестник. - № 2 – 2012 – С.75 – 79.

119. Прохорова, Н. В. Распределение тяжелых металлов в посевах важнейших сельскохозяйственных культур в Самарской области / Н. В. Прохорова, Н. М. Матвеев // Самара: Изд-во Самарский университет. -2006 – 142 с.

120. Макарова, Ю. В. Биогеохимия: практикум / Ю. В. Макарова, Н. В. Прохорова // Самара: Издательство «Самарский университет». - 2012. - 84 с.
121. Ahnston, L. S. Development and Assessment of Sequential Extraction Procedure for the Fractionation of Soil Cadmium // Soil Sei. Soc. Am. J. 1999. V. 6. P. 1650 - 1658.
122. Cierber, C. B. Toxicity, mutagenicity and teratogenicity of lead // Mutat. Res. 1980. Vol. 76. № 2. P. 115 - 141.
123. Fernandes, J. C. Biochemical, physiological, and structural effect of excess copper in plants // The Botanical Rev. 1991. Vol. 57. № 3. P. 246 - 273.
124. Horak, O. Verhalten von Schwermetallen in System von Boden/Pflanzen Horak O., Kamel A. // Forderungsdienst - 1991 - B. 39. - № 11. – S. 316 - 318.
125. Joardar, M. Manganese in Cell Metabolism of Higher Plants / Joardar M., Sharma A // The Botanical Review. 1991. Vol. 57. № 2. P. 117 - 149.
126. Kahle, H. Wirkungen von Blei und Mineralstoffhaushalt von Buchenjungwuchs / H. Kahle, C. Bertela, G. Noack, U. Roder, P. Ruther, S-W Breckle. // Allg. Forstz. 1989. B. 44. № 29 - 30. S. 783 - 788.
127. Kemov, K. N. The effect of "Tailing storehouse" of Mikhailovsky mining enterprise on adjoining agrocenoses / K. N. Kemov // Агрoхимический вестник. – 2011. - № 1. – С. 36 - 37.
128. Kilchevsky, A. Breeding of vegetables with minimum accumulation / A. Kilchevsky., L. Khotylyova., V. Peshich., L. Kogotko., A. Schoor., A. Gavrilov, A. Kruk // Genetics Breeding for Crop and Resistanse. Proceedings of the XV EUCARPIA Congress, Vitermo, Italy, September 20 – 25. - 1999.
129. Monge, E. Revision actualizada del papel de los oligoelementos en plants superiors. 1. Manganese / E. Monge, J. Val. // An. Estac. exp. Aula Dei. 1990. Vol. 20. № 1 - 2. P. 65 - 90.
130. Rengel, L. Problem of cadmium accumulation in modern agricultural production/L. Rengel // PZS. 1991. V. 56.

131. Tomasevic, M. Influence of lead on some physiological characteristics of bean and barley/ M. Tomasevic, M. Bogdanovic, D. Stojnovic // Period. Boil. 1991. Vol. 93. 32. P. 337 - 338.

132. Vetter H. Schwermetalle in der Nahrungskette-Belastungsgrenzen für Pflanzen / H. Vetter // Ibid. – 1982. – S. 12 - 27.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Схема размещения опытных делянок

1 повторность	2 повторность	3 повторность
Контроль Эльсанта 1,5 га	Контроль Эльсанта 1,5 га	Контроль Эльсанта 1,5 га
Минеральные удобрения Эльсанта 1,5 га	Минеральные удобрения Эльсанта 1,5 га	Минеральные удобрения Эльсанта 1,5 га
Минеральные удобрения + опока Эльсанта 1,5 га	Минеральные удобрения + опока Эльсанта 1,5 га	Минеральные удобрения + опока Эльсанта 1,5 га
Контроль Хоней 1,5 га	Контроль Хоней 1,5 га	Контроль Хоней 1,5 га
Минеральные удобрения Хоней 1,5 га	Минеральные удобрения Хоней 1,5 га	Минеральные удобрения Хоней 1,5 га
Минеральные удобрения + опока Хоней" 1,5 га	Минеральные удобрения + опока Хоней 1,5 га	Минеральные удобрения + опока Хоней 1,5 га
Контроль Мармолада 1,5 га	Контроль Мармолада 1,5 га	Контроль Мармолада 1,5 га
Минеральные удобрения Мармолада 1,5 га	Минеральные удобрения Мармолада 1,5 га	Минеральные удобрения Мармолада 1,5 га
Минеральные удобрения + опока Мармолада 1,5 га	Минеральные удобрения + опока Мармолада 1,5 га	Минеральные удобрения + опока Мармолада 1,5 га



Рисунок 1 –Фаза 3-4 настоящих листьев сорта Эльсанта



Рисунок 2 – Фаза 3-4 настоящих листьев земляники садовой сорта Эльсанта



Рисунок 3 – Фаза 3-4 настоящих листьев сорта Эльсанта



Рисунок 4 – Фаза цветения сорта Эльсанта



Рисунок 5 – Фаза конец цветения – образования ягоды сорта Эльсанта



Рисунок 6 – Фаза роста ягоды сорта Эльсанта



Рисунок 7 – Фаза роста и созревания ягоды сорта Эльсанта



Рисунок 8 – Фаза роста и созревания ягоды сорта Эльсанта»



Рисунок 9 – Фаза роста и созревания ягоды сорта Эльсанта



Рисунок 10 – Фаза роста и созревания ягоды сорта Эльсанта



Рисунок 11 – Фаза роста и созревания ягоды сорта Эльсанта



Рисунок 12 – Фаза роста и созревания ягоды сорта Эльсанта



Рисунок 13 – Фаза роста и созревания ягоды сорта Эльсанта



Рисунок 14 – Фаза роста и созревания ягоды сорта Эльсанта



Рисунок 15 – Фаза плодоношения сорта Эльсанта



Рисунок 16 – Производственная плантация земляники садовой сорта Эльсанта



Рисунок 17 – Физиологически спелая ягода земляники садовой сорта Эльсанта



Рисунок 18 – Физиологически спелая ягода земляники садовой сорта Эльсанта

Приложение 3



Рисунок 1 – Фаза 3-4 настоящих листьев сорта Хоней



Рисунок 2 – Фаза начала цветения сорта Хоней



Рисунок 3 – Фаза цветения сорта Хоней



Рисунок 4 – Фаза цветения сорта Хоней



Рисунок 5 – Фаза цветения сорта Хоней



Рисунок 6 – Фаза конец цветения – образования ягоды сорта Хоней



Рисунок 7 – Фаза конец цветения – образования ягоды сорта Хоней



Рисунок 8 – Фаза роста и созревания ягоды сорта Хоней



Рисунок 9 – Фаза роста и созревания ягоды сорта Хоней



Рисунок 10 – Фаза роста и созревания ягоды сорта Хоней



Рисунок 11 – Фаза роста и созревания ягоды сорта Хоней



Рисунок 12 – Фаза роста и созревания ягоды сорта Хоней



Рисунок 13 – Физиологически спелая ягода земляники садовой сорта Хоней



Рисунок 14 – Ягода земляники сорта Хоней



Рисунок 15 – Ягода земляники сорта Хоней



Рисунок 1 – Фаза 3-4 настоящих листьев сорта Мармолада



Рисунок 2 – Фаза 3-4 настоящих листьев сорта Мармолада



Рисунок 3 – Фаза цветения сорта Мармолада



Рисунок 4 – Фаза конец цветения – образования ягоды сорта Мармолада



Рисунок 5 – Фаза конец цветения – образования ягоды сорта Мармолада



Рисунок 6 – Фаза роста ягоды сорта Мармолада



Рисунок 7 – Фаза роста ягоды сорта Мармолада



Рисунок 8 – Фаза роста и созревания ягоды сорта Мармолада



Рисунок 9 – Фаза роста и созревания ягоды сорта Мармолада



Рисунок 10 – Фаза роста и созревания ягоды сорта Мармолада



Рисунок 11 – Фаза роста и созревания ягоды сорта Мармолада



Рисунок 12 – Фаза роста и созревания ягоды сорта Мармолада



Рисунок 13 – Фаза роста и созревания ягоды сорта Мармолада



Рисунок 14 – Фаза роста и созревания ягоды сорта Мармолада



Рисунок 15 – Фаза роста и созревания ягоды сорта Мармолада



Рисунок 16 – Физиологически спелая ягода сорта Мармолада



Рисунок 17 – Ягода земляники сорта Мармолада



Рисунок 18 – Ягода земляники сорта Мармолада