

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский институт
селекции плодовых культур

На правах рукописи

Ветрова Оксана Альфредовна

**ОСОБЕННОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В РАСТЕНИЯ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ В УСЛОВИЯХ
ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

Специальность: 06.01.08 – плодоводство, виноградарство

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель
доктор сельскохозяйственных наук
М. Н. Кузнецов

Мичуринск – наукоград РФ, 2015

Содержание

Введение	3
Глава 1. Обзор литературы	7
1.1. Значение земляники садовой.....	7
1.2. Проблема загрязнения плодовой продукции тяжёлыми металлами.....	9
1.3. Источники поступления тяжёлых металлов в окружающую среду.....	11
1.4. Тяжёлые металлы в растениях: поступление, транспорт, распределение по органам.....	16
1.5. Видовые и сортовые особенности накопления тяжёлых металлов плодовыми и ягодными культурами.....	22
1.6. Способы снижения поступления тяжёлых металлов в растения.....	25
Глава 2. Условия проведения, объекты, методика и методы исследований ..	34
2.1. Условия проведения исследований.....	34
2.2. Объекты исследований.....	36
2.3. Методики.....	41
Глава 3. Особенности накопления Pb, Ni, Zn, Fe и Cu вегетативными органами и плодами земляники садовой в условиях техногенного загрязнения	43
3.1. Оценка состояния ТМ в системе «почва-растение», при выращивании земляники в условиях техногенной нагрузки.....	43
3.2. Распределение ТМ по органам растений.....	47
Глава 4. Сравнение агротехнических способов снижения накопления тяжёлых металлов плодами земляники	77
4.1. Влияние мелиорантов на содержание доступных растениям форм ТМ в условиях техногенного загрязнения.....	77
4.2. Сортовые особенности накопления ТМ в плодах земляники при использовании различных агроприёмов.....	83
4.3. Оценка экономической эффективности применения агротехнических приёмов для получения экологически безопасной продукции земляники садовой.....	92
Выводы	95
Рекомендации к производству	97
Список литературы	98
Приложения	117

Введение

Актуальность исследований определяется потребностью плодородства в разработке технологий получения экологически безопасной ягодной продукции при возделывании в условиях повышенной техногенной нагрузки. Исследованиями последних лет показана возможность загрязнения плодов и ягод тяжёлыми металлами (ТМ), при повышенном их содержании в окружающей среде (Громова В.С., 1995; Мотылёва С.М., 2000; Сенновская Т.В. и др., 2004; Подгорная М.Е., 2005).

Земляника – широко распространённая ягодная культура, ягоды которой являются ценным продуктом питания, источником витаминов, минеральных и органических соединений. В тоже время по сравнению с другими ягодными культурами, она более чувствительна к загрязнению почв тяжёлыми металлами, поскольку имеет неглубокую корневую систему, а основное количество ТМ содержится в верхнем горизонте почвы.

Земляника широко применяется у садоводов-любителей, садовые участки которых часто расположены вблизи шоссе и в зоне влияния промышленных центров, где велик риск накопления тяжёлых металлов в ягодах. В системе защиты промышленных насаждений земляники до настоящего времени применяются ТМ-содержащие препараты. Это говорит о необходимости изучения процессов поступления токсичных элементов в растения земляники и разработки эффективных приёмов, снижающих накопление ТМ в плодах в условиях техногенного загрязнения.

Доказанные значительные сортовые различия в микроэлементном составе плодовых и ягодных культур, в том числе земляники (Мотылёва С.М., 2000), позволяют считать подбор сортов потенциально эффективным приёмом получения экологически безопасной продукции.

Таким образом, для разработки теоретических основ адаптивной технологии выращивания земляники, наряду с разработкой эффективных агротехнических приёмов, является актуальным раскрытие особенностей

видовой и сортовой реакции культуры на загрязнение окружающей среды тяжёлыми металлами.

Цель исследований - выявить сортовые особенности поступления и накопления тяжёлых металлов растениями земляники в условиях техногенного загрязнения и оценить возможности агроприёмов для получения экологически безопасной продукции.

Основные задачи исследования:

1. Оценить интенсивность и избирательность накопления элементов-загрязнителей биомассой растений земляники.

2. Изучить в условиях техногенного загрязнения сортовые особенности накопления и распределения Pb, Ni, Zn, Fe и Cu в органах растений земляники (корень, корневище, лист, плод) в зависимости от их физиологической роли в растениях.

3. Оценить эффективность агроприёмов (внесение удобрений, известкование, цеолитизация, подбор сортов) для снижения экологического риска загрязнения тяжёлыми металлами плодов земляники в условиях техногенного загрязнения.

4. Рассчитать экономическую эффективность применения агротехнических приёмов, уменьшающих накопление ТМ в плодах земляники.

Научная новизна исследований.

Впервые в условиях реального техногенного загрязнения в полевых опытах изучены сортовые особенности накопления тяжёлых металлов в вегетативных органах и плодах земляники садовой и выявлены существенные сортовые различия.

Для культуры земляники показано наличие нескольких механизмов защиты плодов от избыточного накопления ТМ: слабое поглощение загрязнителя из окружающей среды, фиксация элементов в корнях, интенсивное накопление ТМ в листьях.

В условиях техногенного загрязнения проведено сравнение эффективности агроприёмов, снижающих риск накопления тяжёлых металлов в плодах земляники и показана необходимость сортовой агротехники.

Практическая значимость.

В результате исследований выявлены достоверные сортовые различия в накоплении тяжёлых металлов плодами земляники, а также разная отзывчивость сортов на агроприёмы, регулирующие микроэлементный состав плодов. Полученные результаты могут использоваться при разработке адаптивной технологии выращивания экологически безопасной продукции земляники в условиях техногенной нагрузки.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Поступление Pb, Ni, Zn, Fe и Cu в растения земляники садовой, выращиваемой в условиях техногенного загрязнения, формируется под действием комплекса факторов, важнейшими из которых являются: количество доступных форм элементов, поступающих из окружающей среды, физиологическая значимость и химические свойства элементов, агротехника.
2. При выращивании земляники садовой в условиях техногенного загрязнения у различных сортов определено наличие разных механизмов защиты плодов от избыточного накопления ТМ: слабого поглощения загрязнителя из окружающей среды, фиксации элементов в корнях, интенсивного накопления ТМ в листьях.
3. Изученные сорта земляники: Рубиновый кулон, Мамочка, Былинная и Богема проявили неодинаковую отзывчивость на агротехнические приёмы (внесение минеральных удобрений, известкования, цеолитизации) снижающие доступность тяжёлых металлов растениями.

Апробация работы. Основные положения работы были представлены в виде постерных сообщений: на Международной научно-практической конференции «Совершенствование сортимента и технологий возделывания

плодовых и ягодных культур» (Орёл, 2010), на Международной научно-практической конференции «Реализация биологического потенциала плодовых и ягодных растений в нестабильных условиях внешней среды» (Москва, 2011), основные положения работы докладывались в ФГБОУ ВПО ОГАУ на региональной межвузовской научно-практической конференции «Использование генетических ресурсов сельскохозяйственных растений в современном земледелии» (Орёл, 2012).

Вклад автора в получение научных результатов.

С 2006 года автор, являясь, сотрудником лаборатории агроэкологии ФГБНУ ВНИИСПК, лично участвовал в закладке полевого опыта, проведении учёта урожая, отбирал почвенные и растительные образцы, проводил анализы химического состава. А также обобщал и обрабатывал результаты исследований.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано девять научных работ. Из них три в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК министерства образования и науки Российской Федерации.

Объём и структура диссертации.

Диссертация изложена на 128 страницах машинописного текста. Состоит из введения, 4 глав, выводов, рекомендаций к производству. Работа содержит 20 таблиц, 8 рисунков и 5 приложений. Список литературы включает 166 наименований, в том числе 47 на иностранном языке.

Автор благодарит за помощь в выполнении работы и поддержку своих коллег С.М. Мотылеву, Л.В. Голышкина, Т.А. Роеву, Л.И. Леонтьеву, М.Е. Мертвищеву, В.Г. Жернову.

Особую благодарность автор выражает научному руководителю доктору сельскохозяйственных наук М.Н. Кузнецову, а также кандидату биологических наук Е.В. Леоничевой за ценные советы, постоянную поддержку и методическую помощь в выполнении работы.

ГЛАВА 1

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Значение земляники садовой

Интенсификация ягодоводства предусматривает не только расширение площадей, но и совершенствование технологий возделывания урожайных, скороплодных и рентабельных культур. Среди них одно из первых мест занимает земляника. В нашей стране земляника является ведущей ягодной культурой и занимает более 50 тыс.га. (Говорова и др., 2004). Значительная часть этих площадей относится к приусадебным и дачным участкам, роль которых в последние годы неуклонно растёт.

Истоки популярности культуры земляники кроются в прекрасном вкусе ароматных ягод, их диетических и лечебных свойствах, обусловленных гармоничным сочетанием сахаров и кислот, нежной мякотью, лёгкой усвояемостью разнообразных содержащихся в ягодах питательных веществ (Говорова и др., 2004)..

Садовая земляника относится к ботаническому роду *Fragaria*L. (пахучий, ароматный). Сорты земляники с крупными ягодами объединяют в один культурный вид – земляника ананасная (*Fragaria X ananassa*Duch.). Считают, что она произошла в результате скрещивания и последующего отбора от двух американских видов земляники – чилийской (*F.Chiloensis*Erch), и виргинской (*F. Virginiana*Mill). (Кзаков, 2009).

По сравнению с другими ягодными культурами земляника отличается высокой способностью к быстрому вегетативному размножению, скороплодностью, урожайностью, высокой приспособляемостью и пластичностью, позволяющими культивировать её в различных почвенно–климатических зонах. Землянику садовую выращивают во всём мире.

Промышленный урожай земляника даёт на 2 - 4-й год после посадки, а в некоторых случаях способна плодоносить даже в первую вегетацию. У

ремонтантных сортов земляники за один сезон собирают два полноценных урожая.

Ягоды земляники – ценный продукт питания, источник витаминов, минеральных и органических соединений, необходимых для нормальной жизнедеятельности. В состав плодов входят (%): вода – 80-90; сахара – 4,5-10; кислоты (лимонная, яблочная, шавелевая и др.) – 0,75-1,8; клетчатка – 1-1,6; азотистые вещества – 0,9-1,7; дубильные вещества – 0,16-0,25; белки – 0,8-1, масла – 0,6. Ягоды содержат фолиевую кислоту (витамин В₉) 0,5-0,6 мг %, то есть больше, чем у винограда и малины, а также (мг %) эфирные масла, пектин, фенольные соединения, антоцианы, микроэлементы, сухие вещества – 5-24 мг/кг; магний – 12-18 мг/кг; соединения кальция – 28-42 мг/кг; железа – 0,6-10,9 мг/кг; фосфора – 25-29 мг/кг; меди – 0,01-0,03 мг/кг; калия – 161 мг/кг; натрия – 18 мг/кг. (Вауер, 1960; Справочник, Нестерин, Скурихин, 1979).

Оптимальное соотношение натрия и калия, достаточно высокое содержание железа в ягодах способствуют нормализации водно-солевого обмена и предотвращению отложения солей в организме человека. Калий играет исключительную роль в выведении из организма жидкости и натрия, косвенно участвуя в профилактике атеросклероза и гипертонической болезни. По содержанию витаминов земляника уступает лишь смородине и стоит в одном ряду с лимоном: аскорбиновой кислоты – от 50 до 120 мг %. Наличие солей кальция, фосфора, калия, меди, йода, железа повышает содержание в крови гемоглобина и способствует лучшему кровообращению. Гематогенное влияние комплекса витаминов и микроэлементов эффективно при авитаминозах, малокровии, сердечно - сосудистых заболеваниях. Ягоды земляники полезны при лечении болезней почек и печени, подагры и отложений солей в суставах (Козаков и др., 2009).

В 100 г ягод содержится 45 килокалорий. Среднегодовая норма потребления их для человека – 3,8 кг. Следовательно, ягоды земляники содержат комплекс жизненно - необходимых для человека

биологически активных, легко усваиваемых веществ и являются всегда желанным продуктом питания здоровых людей, но и подчас бесценны и незаменимы в диетическом и лечебном питании для тяжелобольных, особенно если учесть, что земляника – первая в сезоне свежая ягода для большей части территории России. (Говорова и др., 2001).

Так как плоды земляники, являются диетическим продуктом, то они должны быть, безусловно, экологически безопасными. Однако в результате ухудшения экологической обстановки в ягодах могут содержаться тяжелые металлы (ТМ) – одни из наиболее опасных для здоровья человека загрязнителей.

1.2. Проблема загрязнения плодовой продукции тяжелыми металлами

В последние десятилетия в связи с быстрым развитием промышленности во всём мире усиливается загрязнение окружающей среды тяжёлыми металлами в масштабах, которые не свойственны природе. В силу этого возрастание их содержания в окружающей среде становится серьёзной экологической проблемой современности (Добровольский, 1987; 1992; Башкин, Касимов, 2004). К тяжёлым металлам относят химические элементы, имеющие плотность более 5 г/см^3 и атомную массу свыше 40. Из числа тяжелых металлов исключаются лишь щелочные и щелочноземельные металлы, а остальные элементы (около 2/3 таблицы Менделеева) попадают в эту категорию (Tiller K.G., 1989). В контексте исследований по проблемам загрязнения растений, термин «тяжелые металлы» достаточно близко связан с понятием “ микроэлементы”.

Термин микроэлемент не имеет строгого определения, поскольку он применяется как к элементам, распространенность которых в земной коре низка (чаще всего менее 0,1%), так и к тем, что присутствуют в живом веществе в очень малых количествах (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Микроэлементы также называют следовыми элементами (trace elements - в англоязычной литературе), а когда они важны для жизненных процессов -

микрокомпонентами питания (micronutrients) или биогенными микроэлементами. Элементы, определяемые как тяжелые металлы в растениях, чаще всего попадают в эти категории. Например, такой редкий элемент как кадмий (кларк $1,3 \cdot 10^{-5}\%$) вполне удовлетворяет категории “следовые элементы”, а Zn, Cu, Mo в микроколичествах необходимые для нормального роста и развития растений - являются “микрокомпонентами питания” (Горешникова, 1995).

Объединение этих и еще ряда других элементов (Pb, Ni, Sn, Mn, Co, Hg) в группу “тяжелых металлов” прежде всего, связано с их возрастающей технофильностью. Геохимические циклы этих элементов в биосфере определяются не столько “работой” живого вещества, сколько антропогенной деятельностью (Большакова, Борисочкина, Краснова, 1991). В настоящее время антропогенное поступление тяжелых металлов в биосферу намного превышает природное (AreaEnvironmentalPollutionStudy, 1979). Возрастание, благодаря деятельности человека, геохимических потоков этих элементов в природе стало причиной выделения их в отдельный класс поллютантов, поскольку с увеличением их концентрации в биосфере проявилось и негативное действие возросших концентраций тяжёлых металлов на живые организмы. Так, например, поступление свинца в организм человека может вызвать такие серьезные заболевания как пневмосклероз, сердечную гипертрофию, цирроз печени (Авцын и др., 1991). Соединения никеля представляют серьезную опасность для здоровья человека, так как действуют на клеточном и субклеточном уровне и оказывают влияние на онкогены (Авцын и др., 1991). Биогенный микроэлемент цинк относится к химическим веществам 1-го класса опасности, медь и молибден - 2-го класса (Методические указания ..., 1992).

Таким образом, под термином тяжелые металлы в токсикологических исследованиях понимается группа химических элементов-металлов, имеющих атомную массу более 40, относящихся чаще всего к категории

редких или рассеянных (кларки $n \approx 10^{-2} \% - n \approx 10^{-5} \%$), являющихся опасными загрязнителями среды обитания человека. Этот термин имеет экологический смысл, поскольку в исследованиях по проблемам загрязнения окружающей среды тяжелые металлы рассматриваются как единая группа, несмотря на существующие различия между ними (Горешникова, 1995).

Несмотря на то, что многие тяжёлые металлы не являются необходимыми для растений, они могут ими активно поглощаться, накапливаться и по пищевым цепям поступать в организм человека (Нестерова, 1989; Ильин, 1991; Grant et al., 1998). Опасность металлов усугубляется ещё и тем, что они обладают кумулятивным действием и сохраняют токсические свойства в течение длительного времени (Минеев и др., 1981; Ягодин и др., 1989). Превышения предельно-допустимых концентраций (ПДК) тяжёлых металлов в плодовой и ягодной продукции, выращиваемой в условиях повышенной антропогенной нагрузки, показаны в работах В.С. Громовой (1995), Т.В. Сенновской и др. (2003, 2005), Коваленко и др. (2004), М.Е. Подгорной (2005). Исследованиями С.М. Мотылёвой (1996, 2000), показана возможность накопления тяжелых металлов в плодовой и ягодной продукции, выращиваемой на территории Орловской области. В этой работе, проведённой в связи с селекционной оценкой сортов, наряду с видовыми, выявлены значительные сортовые различия в микроэлементном составе плодовых и ягодных культур, в том числе земляники.

1.3. Источники поступления тяжелых металлов в окружающую среду

Источники поступления тяжёлых металлов в окружающую среду обычно разделяют, как показано на рисунке 1, на природные и техногенные (Алексеев, 1987; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Prasad, 1995).



Рисунок 1- Основные источники поступления тяжёлых металлов в окружающую среду (Титов и др., 2007)

Основным природным источником тяжёлых металлов в наземных экосистемах являются горные породы, из которых сформировался почвенный покров. В земной коре тяжёлые металлы приурочены к определённым группам минералов и образуют большое количество природных химических соединений – сульфатов, сульфидов, фосфатов, карбонатов, оксидов и др. Количество минералов, в состав которых входят тяжёлые металлы, колеблется от 16 (Hg) до 200 (Pb, Cu). (Титов и др., 2007). Состав почвообразующих пород является главным фактором, определяющим содержание в почвах свинца, цинка, кадмия (Обухов, Лобанова, 1987; Обухов и др., 1992).

Естественные уровни тяжёлых металлов в почвах зависят не только от их содержания в минералах и почвообразующих породах, но и от рельефа и климата. На количество и подвижность тяжёлых металлов в почвах также

оказывают влияние процессы выветривания, почвообразования, неоднородность растительного покрова.

Процессы техногенеза, связанные с интенсивным развитием современной промышленности: угледобывающей, металлургической, химической, энергетической, - являются другим значимым источником поступления тяжёлых металлов в окружающую среду. (Ягодин и др., 1989; Ильин, 1991; Merrington, Alloway, 1994; Снакин, 1998). Загрязнение воздуха происходит при сжигании угля и других горючих ископаемых, а также вызвано выбросами промышленных предприятий.

Выбросы при сжигании топлива распространяются повсеместно (Барсукова, 1997). Основная часть (60-80%) от выбросов в атмосферу кадмия, цинка, меди, свинца приходится на предприятия по переработке лома цветных металлов и руд. В пыли ряда машиностроительных предприятий обнаружено до 2800 мг/кг свинца, а при производстве цемента – 1400 мг/кг (Саев, 1982).

Значительный вклад в загрязнение почв и растений тяжёлыми металлами вносят транспортные средства. Использование свинецсодержащего бензина обеспечивает около 60-70% всех выбросов свинца в атмосферу (Минеев и др., 1981; Снакин, 1998). Вдоль дорог с активным движением автотранспорта, в зависимости от интенсивности движения, свинцом загрязняется полоса земли шириной 50 - 100, реже 300 м (Савицкене и др., 1993). Основное количество этого элемента оседает на почву в пределах 10-15 м и концентрируется в слое глубиной до 10 см. В результате, содержание свинца в почвах вблизи автомагистралей может в десятки, а иногда и в сотни раз превышать фоновые значения (Лепнева, Обухов, 1987; Amrheinetal., 1994). С выхлопными газами автотранспорта выбрасываются и другие тяжёлые металлы: кадмий, кобальт, хром, медь, цинк, железо, молибден (Парибок, 1983).

Одним из источников загрязнения окружающей среды тяжёлыми металлами являются отвалы промышленных отходов и отвалы горнорудной

промышленности. Состав шлаков зависит от технологии предприятий. В некоторых странах Европы площади, занимаемые отвалами, составляют до 7% всей территории (Тюрюканов, 1973). Вокруг промышленной площадки Лебединского ГОКа (Белгородская обл.) формируются техногенные аномалии, где валовое содержание в почвах Fe, Cu, Zn выше зонального в 2 – 3 раза (Джувеликян, 2007). Шлаки Думчинского отвала (Мценский район, Орловской области) содержат 3,5% свинца, 1,2 % цинка и 1,1 % меди. (Кузнецов, 2011).

В работах М.Н. Кузнецова и др. (2000...2008 гг.) показано негативное воздействие отвала отходов предприятия цветной металлургии на природные экосистемы и агроценозы.

Среди антропогенных источников поступления тяжёлых металлов в почву определённую роль играют и агротехнические мероприятия; внесение удобрений, пестицидов и орошение (Алексеев, 1987; Nicholsonetal., 1994; Grantetal., 1998; Никифорова, 2003).

При использовании минеральных удобрений в почву вносится свинца от 7 до 225 мг/кг сухой массы почвы, при применении органических удобрений – от 6 до 15 мг/кг (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Содержание кадмия в минеральных удобрениях колеблется от 0,3 до 179 мг/кг сухой массы (Williams, David, 1977). Даже при относительно небольшом содержании кадмия в фосфорных удобрениях его ежегодное поступление в почву сельскохозяйственных угодий может достигать 10 г/га (Sauerheck, Rictz, 1981).

Сточные воды, используемые в сельском хозяйстве, также являются источником загрязнения почв тяжёлыми металлами. Кадмий, цинк, медь и некоторые другие элементы чаще всего становятся основными токсикантами, ограничивающими применение осадков сточных вод в качестве удобрения. Например, содержание кадмия в осадках сточных вод достигает 90, а цинка – 6000 мг/кг сухой массы (Касатиков и др., 1990), что в 1,5-3,0 раза превышает принятые нормы ПДК.

Таким образом, средства химизации являются приоритетным фактором, влияющим на состояние агроэкосистем, и существенным каналом поступления тяжёлых металлов в почвы сельскохозяйственных ландшафтов.

Существуют разные точки зрения на вклад средств защиты растений в общую картину загрязнения агроценозов тяжёлыми металлами. М.М. Овчаренко (1997) считает, что поскольку расход этих препаратов при проведении защитных мероприятий невелик, они не представляют серьёзной опасности в качестве источника загрязнения.

В то же время, в общем ряду земель сельскохозяйственного назначения выделяются по нагрузке пестицидами садовые агроценозы. Система защиты плодовых растений от вредителей и болезней включает многократные обработки медьсодержащими препаратами (трихлорфенолятом меди, хлорокисью меди, медным купоросом и пр.). К цинкосодержащим препаратам относится Полирам (Холод, 2005). Ежегодная доза меди в составе фунгицидов в среднем за сезон составляет 13 кг/га. Во время обработок деревьев большая часть фунгицидов (до 90 % объёма жидкости) оседает на поверхность почвы. В садах Крыма, ежегодно обрабатываемых медьсодержащими фунгицидами, содержание меди в почвах превышает фон в 2-6 раз и составляет от 40 до 180 мг/кг (Иванов, Иванова и др., 1998).

В садовом массиве ГНУ ВНИИСПК (Орловская область), используемом в садоводстве более 50 лет, содержание меди в серой лесной среднесуглинистой почве превышает регионально фоновые показатели в 3-6 раз (Леоничева и др., 2010). Имеются данные об увеличении на 20-30 % за 5 лет содержания Cu, Pb и Ni в кислых почвах садоводческих хозяйств Тамбовской области (Трунов, Дубовик и др., 2008). С 1995 года отмечаются высокие концентрации меди в почве садов Краснодарского края, причём превышение ПДК меди в почве в 1,5-2 раза приводит к значительному возрастанию содержания меди в плодах (Подгорная, 2005).

В связи с широким распространением ягодных культур в приусадебных хозяйствах и на участках садоводов-любителей наибольшую

опасность в плане загрязнения ягодной продукции тяжёлыми металлами представляют техногенные выпадения из атмосферы и выбросы автотранспорта, а также ТМ – содержащие пестициды. По данным Л.А. Изерской и др., (1996), в почве садово-огородных участков могут наблюдаться превышения фоновых показателей по Cu, Zn и Pb в 4-55 раз.

1.4. Тяжёлые металлы в растениях: поступление, транспорт, распределение по органам

Два основных источника, из которых растения могут поглощать тяжёлые металлы – это почва и воздух (атмосфера) (Парибок и др., 1981; Виноградов, 1985). Соответственно и поступление этих элементов в растительный организм может осуществляться как из почвы (через корни), так и из атмосферы (через листья).

Основными механизмами поступления тяжёлых металлов в растения корневым путём являются: пассивный (неметаболический) перенос ионов в клетку в соответствии с градиентом их концентрации и активный (метаболический) процесс поглощения клеткой против градиента концентрации (Godbold, 1991; Costa, Morel, 1993, 1994). Поглощение тяжёлых металлов корневой системой осуществляется посредством физико-химической адсорбции, а также за счёт неметаболического связывания ионов металлов активными участками клеточной стенки и апопласта (Lasatetal., 1996; Hartetal., 1998). Cd, Zn, Cu и некоторые другие металлы поступают в корни посредством процессов обменной адсорбции (Perit, VandeGeijn, 1978).

Соотношение пассивного и активного механизмов поступления тяжёлых металлов в растения в значительной мере зависит от концентрации этих элементов в почве. Имеются данные, что при содержании металлов в пределах фонового уровня основной вклад вносит активное метаболическое поглощение (Cataldoetal., 1983; Godbold, 1991). Если же концентрации

металлов во внешней среде многократно превышают фон, поглощение носит преимущественно неметаболический характер и является результатом диффузии катионов в свободное пространство корня. (Culter, Rains, 1974). Установлено, что чрезвычайно легко поглощаются растениями ионы Cd, Br, Cs, тогда как Ba, Ti, Se – слабо (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Серёгин и Иванов (1998) отмечают, что Pb поступает в растения и транспортируется в надземные органы медленнее других тяжёлых металлов.

Возможно регулирование корневого поступления металлов в растения при помощи механизмов, уменьшающих концентрацию ТМ на наружной поверхности мембраны клеток корня. В результате этого в клетку попадает меньшее количество металлов. Так, Moreletal. (1986) показали, что связывание Cd^{2+} слизию, выделяемой кончиками корней кукурузы, снижало его концентрацию в плазмалемме.

Наряду с концентрацией элементов в окружающей среде существенное влияние на интенсивность поглощения тяжёлых металлов растением оказывает их роль в метаболических процессах. По значимости для минерального питания растений, тяжёлые металлы можно разделить на две группы: 1) необходимые в незначительных концентрациях для метаболизма растений (Fe, Cu, Zn, Mn), которые становятся токсичными, если их содержание превышает определённый уровень; 2) металлы, не участвующие в метаболизме растений (Pb, Cd, Hg), которые токсичны даже в очень низких концентрациях (Siedlecka, 1995).

В условиях выпадения значительных количеств тяжёлых металлов из атмосферы существенную роль в загрязнении растительного организма начинает играть фолиарное поступление токсикантов. Исследования, проведённые с такими культурами как ячмень, морковь, капуста, рожь и пшеница, показали, что 20-60% от общего содержания кадмия в растении может поступать через листья из атмосферных осадков, загрязнённых металлами (Novmandetal., 1983). Вблизи промышленных предприятий

фолиарное поглощение кадмия и цинка может даже превышать их корневое поступление (Нестерова, 1989; Плеханова, Обухов, 1992).

Процесс поглощения катионов ТМ листьями проходит в два этапа: 1) неметаболическое проникновение ионов через кутикулу; 2) метаболический перенос ионов через плазматические мембраны в протопласт клеток, т.е. их накопление против градиента концентрации (Kannan, 1980). В основном катионы тяжёлых металлов проникают в листья через устьица или кутикулу, далее они могут транспортироваться в корни, побеги и другие органы растения (Парибок, 1983; Welch et al., 1999; Sakmak et al., 2000; Harris, Taylor, 2001).

Концентрация металлов в воздухе, осадках, а также анатомо-морфологические особенности листьев растений – это наиболее важные факторы, определяющие долю внекорневого поступления ТМ. Показано, что свинец при незначительных его концентрациях плохо проникает в листья и слабо в них передвигается (Little, 1973). Эпидермис и кутикула в этом случае являются надёжными барьерами. В то же время Лепнева и Обухов (1987) сообщают, что в условиях сильного загрязнения до 50% свинца, содержащегося в воздухе, может попадать в растение через листья.

Способность листьев поглощать тяжёлые металлы зависит также от особенностей их строения. В листья, имеющие опушённую или шероховатую поверхность, металлы из атмосферы поступают более интенсивно (Godzik, 1993). Именно особенностями строения и биохимического состава кутикулы и эпидермы преимущественно объясняются существующие видовые различия между растениями по накоплению тяжёлых металлов листьями. (Sakmak et al., 2000).

Соединения металлов в составе аэрозолей и пыли, попадающие из атмосферы на лист, удерживаются на нём в виде поверхностных отложений, а часть их может быть вымыта дождевой водой (Козаренко, Козаренко, 1996). Для разных элементов характерна неодинаковая эффективность вымывания.

Например, свинец по сравнению с кадмием легко удаляется атмосферными осадками с поверхности листа (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

Поступление тяжёлых металлов в растения представляет собой сложный процесс, зависящий от комплекса факторов: эдафических, экологических, биологических. Поступление металлов двумя путями: корневым и фоллиарным усиливает риск опасного загрязнения, как для самого растения, так и для других организмов в пищевой цепи, включая человека.

Ионы тяжёлых металлов перемещаются в корнях следующим образом: сначала - двухэтапное поглощение, далее - транспорт по апопласту и симпласту до эндодермы и в базальные участки корня (Нестерова, 1989; Серёгин, Иванов, 1997, 2001). Считается, что проникновение ТМ в центральный цилиндр происходит через молодую эндодерму со слабо развитыми поясками Каспари, а также через избирательно проницаемые мембраны протопласта в эндодерме. Из корней металлы транспортируются в выше расположенные органы по сосудам ксилемы с транспирационным током (Saltetal., 1995; Hartetal., 1998). Тяжёлые металлы могут транспортироваться в растении в виде катионов (Saltetal., 1999), а также в виде различных комплексных соединений, например - с аминокислотами (аспарагином, глутамином, гистидином) (Petit, VandeGeijn, 1978), либо с органическими кислотами (лимонной, фумаровой, малоновой) (Sarretetal., 2002). Установлено также, что дальний транспорт тяжёлых металлов у растений может происходить и по сосудам флоэмы в системе органов донор-акцептор (Сакмакетал., 2000). Флоэмный транспорт изотопов ^{109}Cd и ^{65}Zn обнаружен у растений пшеницы: из листьев в цветки и плоды (Popelkaetal., 1996, Harris, Taylor, 2001), а также от листа к листу или корню (Сакмакетал., 2000; Harris, Taylor, 2001; Page, Feller, 2005). У растений разных видов скорости поглощения и транспорта металлов существенно различаются, и это является одной из причин, определяющих видовые особенности их накопления и распределения по органам (Coughtrey, Martin, 1978; Yangetal., 1995).

Мощным барьером на пути транспорта тяжёлых металлов в надземные органы растений служит корневая система. Барьер апопластического транспорта включает в себя слой клеток протодермы с прилегающими клетками меристемы и эндодерму, а барьер симпластического транспорта составляют клетки центральной части апикальной меристемы (Wierzbicka, 1987; Enstone, Peterson, 1992; Серёгин, Иванов, 1997). Наряду с корневым, у растений существуют другие физиологические барьеры, где возможно связывание тяжёлых металлов. Это барьеры на границе корень - стебель и стебель - репродуктивные органы (Ковда и др., 1979, Скрипниченко, Золотарёва, 1981; Ильин, 1991).

Известно, что при возрастании концентрации тяжёлых металлов во внешней среде повышается их концентрация не только в корнях, но и в надземных органах – стеблях и листьях. Следовательно, защитные механизмы и барьеры, функционирующие на уровне клеток и тканей корня, не в состоянии полностью предотвратить попадание тяжёлых металлов в побеги растений. В среднем (в зависимости от вида растений) надземные органы содержат в 10-15 раз, а по некоторым данным в 200 раз меньше тяжёлых металлов, чем корни (Шевякова и др., 2003). В побегах у однолетних растений содержание цинка, свинца и кадмия составляет от 6 до 35%, а в некоторых случаях – до 46% от общего содержания в растении (Скрипниченко, Золотарёва, 1981; Ильин и др., 1985).

Тяжёлые металлы способны к перемещению в генеративные органы и семена, что показано исследованиями многих авторов (Ильин и др., 1985). Однако, содержание тяжёлых металлов в генеративных органах, как правило, невелико (Ильин, 1991). Например, у 20 сортов риса содержание свинца в зерне оказалось на 2 порядка ниже, чем в листьях, стеблях и корнях и варьировало в пределах от 0,46 до 2,68 мг/кг сухой массы (Liu et al., 2003).

Существуют два мнения о причине низкого содержания тяжёлых металлов в репродуктивных органах растений. Многие исследователи (Ильин, 1991; Mora et al., 1994) объясняют это функционированием

специальных защитных механизмов. Сторонники иной точки зрения считают, что содержание тяжёлых металлов в плодах минимально потому, что репродуктивная фаза наступает относительно поздно, и плоды соответственно, меньше по времени, чем вегетативные органы, подвергаются воздействию избыточной концентрации металлов (Austenfeld, 1979).

Значительные различия по уровню накопления тяжёлых металлов в разных органах культурных растений представляют практический интерес, поскольку позволяют выбирать для возделывания на загрязнённых территориях культуры с менее загрязняемой товарной продукцией.

Характер распределения тяжёлых металлов по органам определяется главным образом свойствами металлов и видовыми особенностями растений (Choudhharyetal., 1994; Yangetal., 1995). Виды, а также сорта растений могут значительно различаться по распределению тяжёлых металлов по органам, что связано с особенностями поглощения ионов металлов корнями и их перемещения из корней в побеги (Hartetal., 1998). По мнению некоторых авторов (Elorjin, VanBeusichem, 1993), распределение тяжёлых металлов в растении в большей степени определяется генотипом, чем их накопление.

В целом по содержанию тяжёлых металлов в органах растений образуется следующий ряд по убыванию: корень > стебель > лист > плод или семена (Ильин, Степанова, 1981; Grantetal., 1998).

Для разных видов этот порядок может несколько различаться (Козаренко, 1987). Большинство видов растений накапливает тяжёлые металлы преимущественно в корнях (Нестерова, 1989; Ильин, 1991; Серёгин, Иванов, 2001).

По способности накапливать тяжёлые металлы растения можно разделить на три группы: 1) аккумуляторы, накапливающие металлы главным образом в надземных органах как при низком, так при высоком содержании их в почве; 2) индикаторы, в которых концентрация металла отражает его содержание в окружающей среде; 3) исключители, у которых поступление металлов в побеги ограничено, несмотря на их высокую

концентрацию в окружающей среде и накопление в корнях (Antosiewicz, 1992).

Растения, относящиеся к разным семействам, заметно различаются по способности накапливать тяжёлые металлы. В зависимости от вида растений содержание в них тяжёлых металлов может изменяться во много раз (до 100 и более) (Покровская, 1995). Для культурных растений, как правило, характерно более низкое накопление металлов, чем для дикорастущих видов тех же семейств (Козаренко, 1987). Разные виды растений, а также сорта одного вида различаются по способности накапливать тяжёлые металлы даже при одной и той же концентрации в почве (Kuboietal., 1986; Yangetal., 1995; Grantetal., 1998, Бакланов, 2011). Например, в условиях техногенного загрязнения у лиственных пород деревьев (берёза, рябина) содержание цинка, кадмия и свинца во всех органах растений значительно выше, чем у хвойных (сосна) (Фёдорова, Одинцова, 2005). При выращивании овощных культур на загрязнённых кадмием почвах концентрация металла в листьях салата, шпината, сельдерея и капусты оказалась выше, чем в листьях томата, кукурузы, бобов и гороха (Davis, White, 1981).

Для ягодных культур вопросы поступления ТМ из окружающей среды и транспорта в растениях изучены мало.

1.5. Видовые и сортовые особенности накопления тяжёлых металлов плодовыми и ягодными культурами

Сведения о накоплении тяжёлых металлов в органах и тканях плодовых и ягодных растений, которые, практически все, являются многолетними, незначительны. В России наиболее полные и систематические исследования накопления тяжёлых металлов в плодовой и ягодной продукции на видовом и сортовом уровне в связи с селекционной оценкой сортов ведутся с 1992 г. С.М. Мотылёвой. В её работах показаны значительные различия в уровне накопления металлов в плодах различных видов и сортов растений, выращиваемых в одинаковых экологических условиях, что подтверждает

важность сравнительного изучения близкородственных генотипов для понимания закономерностей накопления элементов в растениях. Превышения ПДК тяжёлых металлов в плодах и ягодах, выращиваемых в условиях повышенной антропогенной нагрузки, показаны в работах В.С. Громовой (1995), Т.В. Сенновской и др. (2003, 2005). Сообщается о неодинаковой сортовой реакции чёрной и красной смородины в условиях загрязнения почвы Cu — до 2 ПДК, Zn — до 12 ПДК, Pb и Cd — до 1,5 ПДК (Сенновская, Зарубин, Сашко, 2003). Агротехнические способы снизить поступление тяжёлых металлов в продукцию ягодных культур изучались в вегетационных и полевых опытах И.С.Соловьёвым, В.И. Переверзнецевым, Т.И. Кирилловой (1995). Т.А. Роева и Л.И. Леонтьева в своих исследованиях (2008) показали, что формирование микроэлементного состава листьев и плодов смородины чёрной, малины и крыжовника происходит под действием генетических, экологических и агротехнических факторов. Z. Karaklajic-Stajicetal(2012) выявили достоверные различия в содержании микроэлементов в листьях малины в связи с используемым субстратом и некорневыми подкормками. Во всех перечисленных работах основное внимание уделялось содержанию тяжёлых металлов в плодах, из вегетативных органов изучались преимущественно листья.

В исследованиях В.В. Абызова (2008) при изучении устойчивости сортов земляники к воздействию солей тяжёлых металлов была использована методика для определения солеустойчивости, основанная на скорости и степени выцветания хлорофилла. Оценку устойчивости растений земляники к ТМ проводили до полной гибели большинства изучаемых образцов. В ходе опыта все токсические отравления проявлялись на листе.

Работ, в которых изучалось распределение тяжёлых металлов по всем органам ягодных растений, имеется немного. Kowalenko(2004) изучалось распределение микроэлементов в органах малины сорта Willamette.Б.К. Цилю (1992) в вегетационных опытах проведены систематические исследования распределения тяжёлых металлов по органам земляники сорта Редгонтлет в

связи с уровнем загрязнения почвы и проводимыми агротехническими мероприятиями. В этой работе показано существенное различие между распределением токсичных элементов (Pb, Cd) и биогенного элемента (Cu). При создании в почве уровней загрязнения Pb – 2000 мг/кг (30 ПДК) и Cu 40 мг/кг (0,6 ПДК) вынос растениями этих элементов возрастал соответственно в 11 и 2,3 раза. При этом не наблюдалось внешних симптомов снижения продуктивности земляники, а содержание Pb и Cu в ягодах не выходило за пределы ПДК для плодов и ягод.

В работе С.М. Мотылёвой (2000) показаны значительные различия в накоплении тяжёлых металлов разными сортами земляники. Например, в ягодах сорта Редгонтлет содержалось в 2 раза больше Pb, чем в ягодах Рубинового кулона, и в 2 раза меньше, чем у сорта Зенит. При этом содержание Ni в плодах сорта Редгонтлет в 1,5 раза превышало содержание Ni в ягодах сорта Зенит, и было в 2 раза ниже, чем в ягодах Рубинового кулона. Следовательно, изучение распределения тяжёлых металлов в органах ягодных растений на примере одного сорта не позволяет объективно судить о видовых особенностях реакции растений на повышение концентрации ТМ в окружающей среде.

Таким образом, на настоящий момент сведения о накоплении тяжёлых металлов в органах плодовых и ягодных культур весьма незначительны, причём касаются преимущественно надземных органов. Вопросы тканевого распределения тяжёлых металлов в ягодных растениях практически не затронуты. Такая ограниченность сведений не позволяет судить о физиологических механизмах адаптации и устойчивости этих культур к повышенному содержанию тяжёлых металлов в окружающей среде.

1.6. Способы снижения поступления тяжелых металлов в растения

Существует значительный арсенал агроприёмов, предлагаемых для уменьшения поступления ТМ в растительную продукцию, однако, эффективность их использования в плодоводстве изучено мало.

Ильинский А.В. (2003) предлагает меры по восстановлению плодородия техногенно загрязнённых почв (таблица 1), которые зависят от степени загрязнения почвенного покрова, оцениваемой по Z_c – величине суммарного показателя, рекомендуемого для комплексной оценки полиэлементного загрязнения почвы (Сает, 1990).

Предлагаемые в настоящее время методы снижения поступления ТМ в растения можно разделить на 3 группы: физические, химические и биологические.

В ряду физических методов можно ожидать положительного эффекта от глубокой вспашки, рыхления т. д, поскольку это приводит к более равномерному распределению ТМ в почве и частичному их удалению из наиболее корнеобитаемых горизонтов. Рекомендуемая при выращивании земляники предпосадочная подготовка почвы, включающая вспашку на глубину 30 см и многократное дискование («Система производства...», 2005), может рассматриваться как перспективный способ уменьшения риска загрязнения ягод ТМ.

Однако, следует учитывать, что при глубокой вспашке плодородие почв с эллювиально-иллювиальным типом строения профиля может ухудшаться по причине вовлечения в пахотный слой нижележащих малоплодородных горизонтов.

Существенное влияние на накопление ТМ в плодах ягодных растений оказывает влажность почвы. По результатам работы Роевой (2008) показано, что в год с более высокой влажностью почвы у смородины чёрной отмечена более высокая масса ягоды, и при этом в ягодах существенно уменьшилось содержание Ni, Zn, Fe и Cu. Следовательно, при выращивании ягодных

растений в условиях повышенного содержания ТМ в почве, можно ожидать положительного эффекта от орошения.

Таблица 1 - Комплекс мероприятий по санации почв в зависимости от степени загрязнения тяжёлыми металлами (Ильинский, 2003)

Степень загрязнения	Методы санации почв	Приёмы санации почв
Чрезвычайно опасная ($Z_c > 128$)	Физическая очистка	Изъятие загрязнённой почвы и внесение чистого грунта
	Химическая очистка	Промывка почвы водой и минеральными кислотами, фульвокислотами, растворами комплексообразователей; промывной режим орошения, изменение рН почвенного раствора
Высокоопасная ($Z_c = 32, 1 \dots 128$) и умеренно-опасная ($Z_c = 16, 1 \dots 32$)	Физическая детоксикация	Агромелиоративные приёмы: глубокая вспашка, рыхление и т.д.
	Химическая детоксикация	Внесение органических удобрений; Внесение сорбент-мелиорантов; удобрительно-мелиоративная смесь; известкование почвы, внесение фосфорных удобрений.
Низкая ($Z_c < 16$)	Биологическая очистка	Фитомелиорация; фитомелиоративные компоненты севооборота.
	Биологическая детоксикация	Внесение в почву микроорганизмов, переводящих тяжёлые металлы в формы, недоступные растениям.

Значительна группа химических методов регулирования «поведения» ТМ в агроценозе. В их число входят применяемые системы удобрения,

известкование и увеличение поглотительной способности почв при помощи различных сорбент-мелиорантов.

Влияние удобрений на состояние тяжелых металлов в почвах не сводится только к привносу ТМ в агроэкосистемы. Все, что вносится в почву, реагирует с ее компонентами. Длительное применение удобрений приводит к значительным изменениям химических, физических и биологических свойств почвы, влияет на степень проявления почвообразовательных процессов (внутрипочвенное выветривание, лессиваж и др.).

Вследствие изменения условий химического равновесия в почвенном поглощающем комплексе под влиянием минеральных удобрений может усиливаться конкуренция за сорбционные места, что сказывается на доступности катионов растениям. Также установлено, что внесение минеральных удобрений является эффективным приемом усиления физиологических барьерных функций растений по отношению к ТМ на границе «корень – надземные органы» (Лебедева, Соловьёва, 2008).

В качестве примера влияния удобрений на «поведение ТМ» в садовой экосистеме можно показать результаты определения валового содержания ТМ в серой лесной среднесуглинистой почве яблоневого сада при 30-летнем систематическом применении минеральных удобрений (таблица 2).

Оно значительно различается по вариантам опыта. Накопление по сравнению с контролем Ni, Cd, Pb и Cu наблюдалось в вариантах $N_{180}P_{90}K_{90}$, $N_{90}P_{180}K_{90}$ и $N_{90}P_{90}K_{180}$. В этих же вариантах выявлено пониженное содержание Co. При этом в варианте с наибольшими использованными в данном опыте дозами удобрений - $N_{180}P_{180}K_{180}$ – содержание всех изучаемых ТМ на уровне контроля. Минеральные удобрения, увеличивая биопродуктивность, могут существенно увеличить и вынос ТМ с отчуждаемой растительной продукцией. Кроме того, изменяя условия химического равновесия в почвенном растворе, минеральные удобрения могут влиять на доступность ТМ растениям и усиливать их миграцию за пределы корнеобитаемого слоя.

Таблица 2 - Валовое содержание ТМ (мг/кг) в серой лесной почве
длительного полевого опыта с яблоней Геосети ВИУА, Орловская область,
(Отчёт лаборатории агрохимии ВНИИСПК, 1992-1998 гг.)

Элемент	Слой почвы, см	Вариант					ОДК
		Контроль	N ₁₈₀ P ₉₀ K ₉₀	N ₉₀ P ₁₈₀ K ₉₀	N ₉₀ P ₉₀ K ₁₈₀	N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	
Ni	0...20	18,00	50,45	24,50	22,00	20,00	40
	20...40	18,00	21,00	22,75	26,20	20,00	
Cd	0...20	0,15	0,35	0,42	0,35	0,15	1,0
	20...40	0,10	0,30	0,30	0,26	0,09	
Pb	0...20	5,00	17,00	70,00	19,50	4,00	65
	20...40	5,00	16,50	14,00	14,50	5,00	
Co	0...20	9,00	6,00	5,25	5,00	9,00	--
	20...40	8,00	4,00	3,75	4,20	9,00	
Cu	0...20	40,00	225,0	190,00	182,00	40,00	66
	20...40	30,00	35,00	65,00	51,20	30,00	

Рядом авторов изучалось влияние минерального питания на поступление тяжёлых металлов в ягодные растения (Роева, 2008; Леонтьева 2008; Леоничева, 2010). По их данным содержание тяжёлых металлов в плодах и листьях ягодных растений зависит от фона минеральных удобрений, а также от экологического и генетического факторов. В условиях агрогенного загрязнения отмечалось статистически достоверное влияние минеральных удобрений на накопление Pb, Ni, Zn и Fe в листьях смородины чёрной, и Ni и Zn – в листьях малины. Минеральные удобрения повлияли и на содержание тяжёлых металлов в плодах: смородины чёрной, крыжовника и малины. Влияние это неоднозначно: у одной и той же культуры при изменении агрофона содержание одних элементов достоверно снизилось, других – увеличилось.

Одним из направлений детоксикации загрязненных почв является повышение сорбционной емкости почвы путем внесения различных мелиорантов-сорбентов. В качестве мелиорантов-сорбентов используют местные материалы – отходы горных разработок, обогатительных фабрик, переработки минерального сырья, а также многие природные минералы: шунгит, бентонит, глауконит, перлит, диатомит, вермикулит, цеолит, трепелы, опоки и др. Из органических сорбентов используют навоз, торф, сапропель, биогумус, гуматы.

В опытах И.С.Соловьёва, В.И.Привезенцева, Т.И. Кирилловой (1995) изучались агротехнические способы снижения поступления ТМ в продукцию ягодных культур. В этих исследованиях на дерново-подзолистой слабоокультуренной почве искусственно создавались сверхвысокие уровни содержания ТМ (до 10-20 ПДК) и сравнивалось действие 1-2 доз извести, торфа, цеолита. Все изучаемые в этих опытах агроприёмы снижали фитотоксичность ТМ, но искусственно созданные экстремальные условия загрязнения и завышенные дозы мелиорантов не позволяют оценить реальные возможности агроприёмов для получения безопасной ягодной продукции.

Эффективность использования цеолитсодержащей породы при возделывании ягодных культур (смородины чёрной, крыжовника, малины) показана в работах Т.А.Роевой и Л.И.Леонтьевой. При содержании ТМ в почве в 2...6 раз выше фонового уровня внесение цеолитсодержащих трепелов Хотынецкого месторождения позволяло уменьшить поступление ТМ в ягоды на 20-70% в зависимости от культуры. При этом оптимальные для разных культур дозы существенно различались: 3 т/га – для смородины, 8 т/га – для крыжовника, 10 т/га – для малины.

В исследованиях Б.К.Цилу (1992) внесение цеолита Сокирницкого месторождения в дозах 50-100 т/га в загрязненную свинцом и медью почву снижало содержание подвижных форм металлов соответственно на 19-51% и 4-32%, при этом содержание ТМ в ягодах земляники снизилось незначительно.

В вегетационных опытах при использовании цеолита Сокирницкого месторождения в дозах 5 и 10% от массы почвы при уровне загрязнения почвы Pb 2-6 ПДК поступление Pb в растения земляники снижалось в 1,5 раза, а в растения вишни – в 3 раза (Минеев и др., 1989).

В работе И. Г. Попеско, И. С. Соловьева и др. (1991) показано, что цеолит Сокирницкого месторождения в условиях вегетационного опыта полностью устранил токсичность Pb при максимальном загрязнении (5 ПДК) на смородине и частично – на вишне.

Наиболее радикальным приёмом, влияющим на основные процессы трансформации в системе «почва-растение» считается известкование (Lagerwerff, 1972; Первунина, Зырин, Малахов, 1985; Ильин, 1991; Обухов, Плеханова, 1995; Овчаренко и др., 2005). Эффективность известкования в целях снижения поступления тяжёлых металлов в растительную продукцию подтверждена экспериментально.

Может быть несколько объяснений снижению поступления ТМ в растения в результате известкования почвы: 1) при возрастании pH ТМ выпадают из почвенного раствора в осадок в виде гидроксидов, карбонатов, фосфатов; 2) в результате возрастания pH и содержания в почве кальция уменьшается способность корней к поглощению ряда ТМ; 3) известкование благоприятствует образованию комплексов органических веществ почвы с тяжёлыми металлами (Lagerwerff, 1972; Ильин, 1991). Применение извести не всегда может приводить к иммобилизации элементов: металлы, которые присутствуют в почве преимущественно в форме высокомолекулярных хелатов, могут оставаться достаточно растворимыми даже после сильного известкования (Овцов, 2000).

Роевой Т.А. (2008) проведено сравнение возможностей цеолитизации и известкования при выращивании смородины чёрной. Было выявлено, что использование извести и цеолита при выращивании смородины чёрной на серой лесной среднесуглинистой почве оказывает влияние на подвижность Pb, Ni, Zn, Cu и Fe в почве и содержание их в листьях и ягодах. Действие

мелиорантов по – разному проявляется в зависимости от агрофона и вида металла. Показана возможность подбора агроприёмов в зависимости от специфики загрязнения.

Третья группа методов влияния на состояние ТМ в садовых агроэкосистемах – биологические методы.

К биологическим методам относятся такие агроприёмы, как фитомелиорация, способы содержания почвы и манёвр культурами и сортами.

Фитомелиорация основана на использовании выноса химических элементов растениями. Этот метод эффективен только на участках с низким и средним уровнем загрязнения почв (таблица 1).

Данная технология привлекательна с тем, что в её основе лежит естественный природный процесс биологического круговорота, составными частями которого являются культивирование растений-аккумуляторов, улучшение свойств почв и защита их от эрозии. С экономической точки зрения фиторемедиация имеет преимущества перед химическими и физическими методами ремедиации почв, так как её внедрение не предполагает крупных капиталовложений.

Многие исследователи полагают, что наибольшим потенциалом для целей фиторемедиации обладают растения-аккумуляторы, способные накапливать в своих тканях тяжёлые металлы в концентрациях, в 100 – 1000 раз превышающих таковые в других растениях, произрастающих в аналогичных условиях (Brooks, 1998; Линдиман, 2009).

Эффективность фитоэкстракции зависит от вида растения, химических особенностей металла, состава и уровня загрязнения почвы, гранулометрического состава почвы.

Фитомелиоранты целесообразно использовать в системе почвозащитных севооборотов. Севооборот обеспечивает более высокую урожайность сельскохозяйственных культур. Учитывая видовые и сортовые особенности культур по накоплению тяжёлых металлов, можно применять севообороты,

обеспечивающие наименьшее накопление тяжёлых металлов в каждой культуре.

В земляничных севооборотах рекомендуется выращивать следующие сельскохозяйственные культуры: яровые на зерно или монокорм – ячмень, пшеница, овёс, горох гречиха; озимые на зерно или монокорм – рожь, пшеница, вика; пропашные – кукуруза на силос, свекла (коромовая, столовая), лук, морковь, брюква, турнепс; травосмеси на корм – вико-овёс, горохо-овёс, люпин, донник; сидераты – люпин, озимая рожь, ячмень, донник, фацелия, горчица («Система производства...», 2005). Большое разнообразие культур даёт теоретическую возможность создания севооборотов, обеспечивающих максимальный вынос ТМ из почвы при сохранении экологической безопасности продукции каждой культуры. Однако к настоящему времени практических исследований выноса ТМ культурами земляничного севооборота не проводилось.

На поступление тяжёлых металлов в плодовые и ягодные растения может влиять способ содержания почвы между рядий.

В работе Маслова С.П. и др. (1995) изучалось накопление тяжёлых металлов в почве при разных системах её содержания в яблоневых садах. Показано, что при содержании почвы под сидератами или залужением концентрация в почве подвижных форм ТМ ниже по сравнению с чёрным паром: Ni в 1,5...1,8; Pb в 4,6...5,2; Co в 1,3...2,3; Cu в 4,1...6 раз.

В опытах Стазаевой Н.В. (2009) содержание ТМ в ягодах смородины чёрной было ниже при выращивании в между рядьях козлятника, чем при содержании почвы под чёрным паром (Hg – на 21,4%, Pb – на 37,5%, Cu – на 22,3%, Zn – на 35,2%).

Одним из способов получения экологически чистой продукции на загрязнённых почвах является подбор культур или сортов, не накапливающих в продукции опасные количества токсичных элементов.

С.М. Мотылёвой (2000) показаны существенные сортовые различия в накоплении тяжёлых металлов плодами земляники (Таблица 3).

Таблица 3 - Сортвые особенности содержания тяжёлых металлов в плодах земляники, мг/кг сырой массы (Мотылёва, 2000)

Сорт	Pb	Ni	Zn	Fe	Cu
Рубиновый кулон	0,035	0,290	0,622	1,337	0,735
Зенга-Зенгана	0,034	0,148	0,644	0,943	1,346
Зенит	0,120	0,080	0,577	2,423	0,709
Надежда	0,067	0,087	0,349	3,442	0,371

Минимальным содержанием свинца отличаются сорта земляники – Зенга-Зенгана и Рубиновый кулон. Минимальным содержанием никеля выделяются – Зенит и Надежда (таблица 3).

Исследования С.М.Мотылёвой (2000), проводимые с целью селекционной оценки сортов, показывают теоретическую возможность существенного уменьшения содержания ТМ в продукции путём целенаправленного подбора сортов земляники. Для разработки элементов сортовых технологий выращивания этой культуры в полевых условиях при реальном техногенном загрязнении требуются данные не только о составе плодов, но и об отзывчивости сортов на конкретные агроприёмы.

Таким образом, в настоящее время предлагается значительное количество способов уменьшить поступление ТМ в растительную продукцию, однако эффективность этих способов при выращивании земляники в условиях техногенного загрязнения практически не изучена. В связи с этим для культуры земляники является актуальным изучение сортовых особенностей накопления ТМ растениями и оценка в реальных условиях эффективности таких способов получения безопасной продукции, как цеолитизация и известкование.

ГЛАВА 2

**УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ, ОБЪЕКТЫ, МЕТОДИКА И
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ****2.1. Условия проведения исследований**

Диссертационная работа выполнена во Всероссийском научно-исследовательском институте селекции плодовых культур (ВНИИСПК). Исследования проводились в 2006-2013 гг. на базе лаборатории агроэкологии и на опытном участке в населённом пункте Большое Думчино (Мценский район Орловской области).

Опытный участок расположен на высоте 203 м над уровнем моря на склоне юго-восточной экспозиции крутизной 3°. Почвы опытного участка – светло-серые лесные, среднесуглинистые. Почвообразующая порода – лессовидные суглинки.

Климат Орловской области формируется под влиянием атлантических и континентальных воздушных масс и является умеренно-континентальным. За год выпадает умеренное количество осадков, в среднем 630...700 мм. Вегетационный период продолжается 175...185 дней, период активной вегетации с температурой свыше 10°C составляет 145-160 дней. Средняя годовая температура воздуха +6,6°C, абсолютный максимум +35,2°C. Сумма положительных температур выше 10°C в среднем составляет 2374. Абсолютный минимум температуры воздуха – 28,1°C. Среднее число дней со снежным покровом – 108 (таблица 4).

Участок для исследований выбран ввиду его близкого расположения (на расстоянии 800 м) от крупного отвала солевых шлаков, являющихся отходами предприятия по переработке лома цветных металлов. Предварительное обследование опытного участка показало, что валовое содержание в почве Cu превышает $ОДК_{вал.}$, валовое содержание Ni находится на уровне $ОДК_{вал.}$, валовое содержание Zn составляет 0,6 $ОДК_{вал.}$ И в 5 раз превышает регионально-фоновый уровень, а валовое содержание Pb в 2 раза

превышает регионально-фоновое (таблица 5). При этом содержание подвижных форм Zn и Ni превышает допустимый уровень в 30% образцов.

Таблица 4 – Метеоданные по Метеостанции «Мценск»,
2006-2008 гг.

	2006 г.	2007 г.	2008 г.
Количество осадков (мм)	703,7	631,4	701,5
Количество дней со среднесуточной температурой воздуха выше 10°C	160	148	145
Среднегодовая температура воздуха (°C)	5,5	7,2	7,2
Абсолютный максимум температуры воздуха (°C)	31,5	35,2	34,4
Абсолютный минимум температуры воздуха (°C)	- 36	-22,3	-26
Сумма положительных температур воздуха выше 10°C (°C)	2453	2151	2518
Число дней со снежным покровом	118	90	118

Таблица 5 – Содержание тяжёлых металлов в почве
опытного участка, мг/кг

Формы ТМ	Pb		Ni		Zn		Cu	
	0...20 см	20...40 см	0...20 см	20...40 см	0...20 см	20...40 см	0...20 см	20...40 см
Валовое содержание	29,1	23,3	39,3	38,8	65,8	55,8	69,0	85,5
ОДК _{вал.} *	65,0		40,0		110,0		66,0	
Фон _{вал.} **	12,7		15,0		13,4		12,3	
Подвижные формы	0,3	0,2	0,7	0,6	4,6	4,8	1,5	1,6
ПДК _{подв.} ***	6,0		4,0		23,0		3,0	

* - Ориентировочно допустимые концентрации..., 1995;

** - Регионально-фоновое содержание химических веществ..., 1999;

*** - Перечень предельно-допустимых концентраций..., 1991

Величина показателя Z_c , рекомендуемого для комплексной оценки полиэлементного загрязнения (Саеt, 1990; «Инструктивное письмо Госкомприроды...», 1990), составила 13,75. Такие почвы, согласно нормативным требованиям, нуждаются в мероприятиях по снижению доступности токсикантов для растений.

Исследованиями Л.П.Степановой и соавторов (2010) показано негативное воздействие Думчинского шлакоотвала на растительные сообщества и почвенный микробоценоз прилегающих территорий.

Почва опытного участка светло-серая лесная среднесуглинистая, хорошо окультуренная (таблица 6).

Таблица 6 – Агрохимические свойства почвы опытного участка
(слой 0...20 см)

Гумус, %	pH _{KCl}	Н _{общ.}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	P ₂ O ₅ (подвижн.)	K ₂ O (обмен.)
		мг-экв/ 100 г почвы			мг/ 100 г почвы	
3,4	5,4	3,0	9,9	4,4	34,3	49,9

2.2. Объекты исследований

Объектом исследования является агроэкосистема полевого опыта с четырьмя сортами земляники: Рубиновый кулон, Богема, Былинная и Мамочка. Опыт заложен в населённом пункте Большое Думчино Мценского района Орловской области в 2006 г. Сорта подобраны с учётом хозяйственно-биологических признаков.

Рубиновый кулон – сорт селекции ВНИИГ и СПР им. И.В.Мичурина, получен от скрещивания Зенга Зенгана х Фейрфакс (SengaSenganaxFairfax). Сорт создан А.А.Зубовым и включён в Госреестр для Центрального региона России в 1988 г. Рубиновый кулон – сорт среднего срока созревания, высокоурожайный. Довольно зимостоек и засухоустойчив. Устойчив к грибным болезням и земляничному клещу, незначительно поражается

мучнистой росой, устойчив к серой гнили ягод и пятнистости листьев (Казаков и др., 2009).

Сорт **Богема** – получен от скрещивания (Луч ВИРа х Г 56), Россия, авторы – Г.Ф.Говорова и Д.Н.Говоров. Сорт позднего срока созревания, высокоурожайный, универсального назначения. Куст мощный, хорошо облиственный, цветоносы на уровне листьев, толстые. Ягода тёмноокрашенная, ширококоническая, с блестящей плотной кожицей. Мякоть плотная, отличного вкуса с ароматом. Показывает хорошую урожайность, как на юге России, так и в зоне рискованного земледелия, в том числе на южном Урале. Достоинства сорта: транспортабельность, высокие вкусовые качества, устойчивость к наиболее распространённым болезням и вредителям, крупноплодность (масса ягод первого сбора – 45-50 г). Сорт включён в Госреестр для Центрального региона России в 2008 г. Он широко представлен на приусадебных участках. Зимостойкий, высокоурожайный, чрезвычайно устойчив фактически ко всем наиболее вредоносным грибным болезням земляники, встречающимся в России (вертициллёзу, фузариозу, фитофторозной кожистой гнили и серой гнили плодов, мучнистой росе, к видам белой, бурой и угловатой пятнистости); толерантен к нематоду и клещу (Говорова, Говоров, 2001).

Сорт **Былинная** получен от скрещивания (Персиковая х Сеянец ВИР 228613), Крымская ОСС ВИР, Россия. Авторы: Г.Ф.Говорова, М.Н.Бобрышева, Е.Ф.Малиновская. Среднераннего срока созревания. Засухоустойчив и зимостоек. Устойчив к вертициллёзу, мучнистой росе, фитофторозной кожистой гнили, серой гнили, белой, бурой и угловатой видам пятнистости, к клещам; толерантен к нематоду (Говорова, Говоров, 2001). Урожайность высокая. Куст среднерослый, прямостоячий, хорошо облиственный, мощный. Розетки толстые, красные. Цветоносы средней длины, толстые, ниже уровня листьев, с редким опушением. Соцветия компактные, многоцветковые. Ягоды средней величины, выровненные, кругло-овальной формы, с шейкой.

Сорт **Мамочка** получен от скрещивания (Сеянец Г.Ф.Говоровой от свободного опыления неизвестным сортом), автор Г.Ф.Говорова. Новый высокоурожайный сорт универсального назначения, среднераннего срока созревания. Куст мощный, лист средней величины, тёмно-зелёный. Цветоносы прямостоячие, выше уровня листьев. Ягоды ярко-красные, крупные (20-38 г), сладкие, ароматные с очень плотной мякотью. Сорт зимостойкий, высокоустойчив к паутинному и земляничному клещам, мучнистой росе, белой, бурой и угловатой пятнистостям, вертициллёзу, серой гнили плодов. Ежегодно хорошо плодоносит даже на тяжёлых глинистых почвах (Говорова, Говоров, 2001).

Особенности изучаемых сортов, наблюдаемые в нашем опыте, в сравнении с литературными данными представлены в таблице 7.

Опыт был заложен в рамках программы научных исследований лаборатории агроэкологии «Разработать способы выявления эколого-физиологических механизмов оптимизации и управления продукционным процессом и качеством плодовой продукции в садовых агроценозах», номер государственной регистрации 01200850734.

Цель закладки опыта – изучение эффективности различных агроприёмов (внесения в почву минеральных удобрений, извести, цеолита), как способов получения безопасной продукции земляники в условиях техногенного загрязнения агроценозов тяжёлыми металлами.

Таблица 7 - Морфологические признаки изучаемых сортов

Признаки	Сорта			
	Рубиновый кулон	Мамочка	Былинная	Богема
Срок созревания*	Средний	Среднеранний	Среднеранний	Поздний
Габитус куста*	Куст мощный, хорошо облиственный	Куст мощный	Куст высокий, мощный, прямостоячий, слегка раскидистый с хорошей облиственностью	Куст мощный, хорошо облиственный
Усообразовательная способность*	высокая	высокая	средняя	слабая
Лист*	Листья крупные, гладкие	Лист средней величины, тёмно-зелёные.	Листья крупные, тёмно-зелёные, с блеском, слабо-морщинистые	Лист крупный, нижний тёмно-зелёный, верхний светло-зелёный среднморщинистый, опушённый.
Площадь листа, см ² **	151,51	140,00	96,34	205,98
Толщина листа, мкм**	273,35	241,28	233,42	247,00
Масса ягоды (г)*	45-50	30-35 (первый сбор, последующие – 20)	25-30	45
Масса ягоды (г)**	13,03	9,96	7,77	16,19
Консистенция мякоти плодов*	Плотная	Очень плотная	Плотная	Очень плотная
Урожайность (ц/га)*	300-350	150-200	150-200	300
Урожайность (ц/га)**	126-142	107-140	96-101	128-187

Примечание: *- Говорова, 2001; **- данные нашего опыта

С целью изучения сортовых особенностей поступления и накопления ТМ растениями земляники в условиях техногенного загрязнения и оценки эффективности агротехнических приёмов для получения безопасной продукции в 2006 г. был заложен опыт с четырьмя сортами земляники: Рубиновый кулон, Богема, Былинная и Мамочка.

Опыт заложен в 3-х кратной повторности по следующей схеме:

Варианты агротехнического опыта:

1. Контроль (без внесения минеральных удобрений и мелиорантов)
2. $N_{90}P_{90}K_{90}$
3. Цеолитсодержащая порода (ЦСП) 15 т/га
4. ЦСП 25 т/га
5. $N_{90}P_{90}K_{90}+$ ЦСП 15 т/га
6. $N_{90}P_{90}K_{90}+$ ЦСП 25 т/га
7. Известь 2 т/га

Расположение вариантов по делянкам – рендомизированное.

Схема посадки 80X20 см.

Количество растений на делянке – 10 шт.

Площадь делянки – 1,6 м².

Схема расположения опытных делянок на участке представлена в Приложении 1.

Выбор доз удобрений и извести обусловлен рекомендациями для культуры («Система производства ...» ВСТИСП, 2005).

Цеолит и известь вносили однократно перед посадкой в слой почвы 0...20 см.

В опыте была использована цеолитсодержащая порода (ЦСП) Хотынецкого месторождения Орловской области. По данным производителя ООО «Алсико-ресурс» минералогический состав цеолитсодержащей породы Хотынецкого месторождения следующий: клиноптилолит 34%, морденит 4%, кристобаллит 28%, кальцит 5,4%, монтмориллонит 12%, слюда 1%, кварц 16%.

Минеральные удобрения вносили ежегодно рано весной в виде аммиачной селитры, двойного суперфосфата и сульфата калия.

Аммиачная селитра (азотнокислый аммоний) NH_4NO_3 содержит 34-35% азота. Двойной суперфосфат $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ содержит не менее 45% усвояемой P_2O_5 . Сульфат калия (K_2SO_4), содержание калия не менее 48%.

Образцы почвы для агрохимического анализа отбирались осенью 2006 и 2007 гг. Содержание ТМ в почве определялось по окончании 2-го периода вегетации (осень 2007 г).

Для изучения сортовых особенностей накопления и распределения ТМ в 2007 и 2008 гг в фазу плодоношения отбирались целые растения изучаемых сортов на контрольном варианте и на фоне $\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$. Растительные образцы фиксировались и далее в отобранных растениях в 2009-2013 гг. определялось содержание ТМ по органам: корень, корневище, лист (черешок и листовая пластинка), плод.

Для оценки эффективности агроприёмов, снижающих поступление ТМ в растения, в 2007 и 2008 гг. отобраны и зафиксированы образцы для анализа содержания ТМ в плодах по всем вариантам опыта. Анализ проводился в 2009 -2013 гг.

2.3. Методики

Техника отбора проб растений соответствует требованиям Программы и методики сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур (Орёл, 1999).

Биометрические показатели: учёт урожайности и определение средней массы ягоды проводились согласно «Методика сортоизучения плодовых и ягодных и орехоплодных культур (Орёл, 1999);

Содержание ТМ (Pb, Ni, Zn, Feи Cu) в растительных пробах определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии по МУК 4.1. 053 - 96 и Методическим рекомендациям по определению Pbи Ni в органах плодовых растений (Мотылёва, Кузнецов, 2009).

Техника отбора проб почвы соответствует требованиям ГОСТУ 174.3.01 – 83 – «Общие требования к отбору проб» и МУК по определению тяжёлых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства (ЦИНАО, 1992).

Агрохимический анализ почвы проводился по следующим методикам:

- pH_{KCl} потенциометрически (ГОСТ 26483 – 85);
- гидролитическая кислотность по Каппену (ГОСТ 26212 – 91);
- содержание подвижного фосфора и обменного калия в почвенных вытяжках по Чирикову (ГОСТ 26204 – 84);
- сумма обменных оснований кальция и магния трилонметрически (МРТУ, 1968);
- сумма поглощённых оснований по Каппену-Гильковицу трилонметрически (ГОСТ 26487 – 85);
- определение гумуса по методу Тюринга (ГОСТ 26213 – 84).

Содержание подвижных форм Pb, Ni, Zn и Cu в почве (в вытяжке ацетатно – аммонийным буфером с pH 4,8) определено методом высокоэффективной жидкостной хроматографии по методическим указаниям МУК 4.1. 053-96 и по методическим рекомендациям по определению подвижных форм меди (Мотылёва и др., 2009).

- Валовое содержание Pb, Ni, Zn, Fe и Cu – рентгенфлуорцентным методом.

Полученные в результате исследований данные обрабатывали статистическим методом дисперсионного анализа (Доспехов, 1985) с помощью программы (TVA) и пакета программ Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

ГЛАВА 3

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ Pb, Ni, Zn, Fe И Cu ВЕГЕТАТИВНЫМИ ОРГАНАМИ И ПЛОДАМИ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

3.1. Оценка состояния ТМ в системе «почва - растение», при выращивании земляники в условиях повышенной техногенной нагрузки

В современных экологических исследованиях широко применяются комплексные показатели, характеризующие соотношение концентраций элементов в системе «почва-растение». С их помощью оценивают избирательность поглощения элементов, как отдельными видами растений, так и растительными сообществами, а также интенсивность процессов накопления элементов биомассой растений.

Нами для всех изучаемых сортов проведён расчёт комплексных показателей, характеризующих состояние ТМ в системе «почва-растение» (Таблица 9).

Наиболее известным показателем из этой группы является коэффициент биологического поглощения (A_x или КБП), представляющий собой отношение содержания элемента в золе растений к его валовому содержанию в почве. А.И.Перельман (1989), используя данные о среднем составе золы живых организмов и кларки твёрдой земной коры, произвёл расчёты КБП, на основании которых разделил химические элементы на 2 большие группы: «элементы биологического накопления» - КБП > 1, и «элементы биологического захвата» - КБП < 1 (таблица 8).

Таблица 8 - Ряды биологического поглощения элементов (Перельман, 1989)

		Коэффициенты биологического поглощения				
		100 × n	10 × n	n	0,n	0,0n – 0,00n
Элементы биологического накопления	Энергичного	P, S, Cl, Br, I				
	Сильного			Ca, Na, K, Mg, Sr, Zn, B, Se		
Элементы биологического захвата	Среднего			Mn, F, Ba, Ni, Cu, Ga, Co, Pb, Sn, As, Mo, Hg, Ag, Ra		
	Слабого и очень слабого			Si, Al, Fe, Ti, Zr, Rb, V, Cr, Li, Y, Nb, Th, Sc, Be, Cs, Ta, U, W, Sb, Cd		

Таблица - 9 Показатели состояния ТМ в системе «почва-растение», 2007-2008гг.

Элемент	Показатель	Сорт			
		Рубиновый кулон	Мамочка	Былинная	Богема
Pb	КБП	0,38	1,95	1,10	0,35
	КУ	22,53	54,93	48,77	11,93
Ni	КБП	0,16	0,10	0,11	0,15
	КУ	2,11	3,26	3,26	4,29
Zn	КБП	0,10	0,10	0,11	0,28
	КУ	1,04	0,78	7,91	1,65
Fe	КБП	0,001	0,001	0,002	0,002
	КУ	4,99	5,35	7,15	7,35
Cu	КБП	1,14	0,91	1,29	0,88
	КУ	5,98	5,42	7,04	5,10

Приведённые в таблице 8 значения коэффициентов биологического поглощения отражают общую закономерность распределения элементов в биосфере, а для конкретных систем «почва-растение» величины КБП сильно варьируют. Часто на основании величины КБП оценивают экологический риск возделывания культур в конкретных условиях загрязнения, а также выявляют растения-гипераккумуляторы, пригодные для целей фиторемедиации загрязнённых почв.

В условиях реального техногенного загрязнения, рассчитанные для разных сортов земляники КБП Pb, Zn и Cu отличались от среднего уровня, показанного в таблице 8.

Так, в отличие от классификации Перельмана, по величине КБП Cu для всех изучаемых сортов земляники была элементом сильного поглощения, что вполне согласуется с её ролью основного загрязнителя в изучаемой агроэкосистеме. Также элементом сильного поглощения для сортов Мамочка и Былинная оказался Pb. Для сортов Богема и Рубиновый кулон Pb – это элемент среднего биологического захвата. Zn в нашей экосистеме из категории элементов сильного накопления переместился в класс элементов среднего биологического захвата. Также для всех сортов элементом среднего биологического захвата был Ni. Fe, не являющееся элементом-загрязнителем, в соответствии с общими закономерностями распределения элементов в биосфере, для всех сортов земляники было элементом слабого и очень слабого захвата (таблица 9). Более низкое значение КБП Zn, в сравнении со средним уровнем, может быть как видовой особенностью культуры земляники, так и результатом конкурентных взаимоотношений с другими ТМ.

Многие почвоведы и агрохимики, занимающиеся проблемой загрязнения почв тяжёлыми металлами, считают, что определение содержания в почве подвижных форм тяжёлых металлов даёт наиболее объективную оценку загрязнения (Ильин, Степанова, 1979; Важенин, 1982; Зырин, 1983 и др.). В

связи с этим состояние ТМ в системе «почва – растение» часто оценивают при помощи коэффициента усвоения (КУ).

Коэффициент усвоения (КУ) представляет собой отношение содержания элемента в золе надземной части растения к содержанию в почве доступных растению форм. Он характеризует интенсивность поступления ТМ в растения. В своих расчётах КУ мы использовали данные о составе золы листьев земляники.

Также следует сказать, что до настоящего времени нет достоверных данных, о том какие именно соединения Fe в почве доступны растениям. Поэтому отношение содержания Fe в золе листьев к содержанию форм элемента, извлекаемых из почвы ацетатно-аммонийным буфером pH=4,8 можно считать коэффициентом усвоения только условно.

Величины КУ для Zn и Cu соответствуют соотношению концентраций подвижных форм этих элементов в почве и уровням накопления элементов листьями. Наиболее интенсивным поступлением биогенных элементов в надземную часть растения отличается сорт Былинная.

Значения коэффициентов усвоения показывают что, несмотря на наличие барьеров в корнях растений, интенсивность поступления Pb из почвы в надземную часть растений земляники у всех изучаемых сортов на порядок выше, чем других ТМ (таблица 9).

В то же время при валовом содержании Ni в почве на уровне ОДК_{вал.} интенсивность поступления Ni у всех сортов на порядок ниже.

Полученные нами результаты дают возможность предположить, что при одновременном поступлении Pb и Ni из почвы и из атмосферы культура земляники в целом лучше защищена от накопления Ni, а риск накопления Pb в плодах выше. Высокий риск поступления Pb в плоды земляники важно учитывать, так как этот элемент является одним из наиболее распространённых загрязнителей в почвах населённых пунктов, а земляника – одна из самых популярных культур на приусадебных участках.

3.2. Распределение ТМ по органам растений

Содержание ТМ в растительной продукции определяется комплексом факторов, основные из которых: концентрация элементов в окружающей среде, видовые особенности растения, физиологическая значимость элементов. Под влиянием этих факторов формируется характерная для данного вида растений картина распределения элементов по органам и тканям, позволяющая оценить эффективность работы физиологических барьеров, препятствующих проникновению токсичных элементов в генеративные органы, что особенно важно для плодовых культур.

В условиях техногенного загрязнения агроценозов определение содержания ТМ в вегетативных органах растений представляется особенно важным для правильного понимания механизмов накопления ТМ в плодах. В районах интенсивного выпадения соединений ТМ из атмосферы важную роль в загрязнении растительной продукции может играть фолиарное (через листья) поглощение ТМ растениями. Поглощенные листьями или корнями микроэлементы могут переноситься в другие растительные ткани.

Хотя уже показана важность изучения распределения ТМ по органам и тканям растений на видовом и сортовом уровне, подобных исследований на плодовых и ягодных культурах проведено мало.

Наиболее подробно распределение ТМ в различных органах земляники изучалось Б.К.Цилу (1992) в вегетационных опытах с сортом Редгонтлет на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. В этой работе показано существенное различие между распределением по органам растения токсичных элементов (Pb, Cd) и биогенного элемента (Cu). Однако уровни загрязнения почвы Pb, Cd в опытах Б.К.Цилу были чрезмерно высокими (до 30 ОДК_{вал.} по Pb и до 50 ОДК_{вал.} по Cd). Согласно современным нормативным требованиям, почвы с таким уровнем загрязнения должны выводиться из

сельскохозяйственного оборота, поэтому результаты подобных исследований имеют преимущественно теоретическое значение.

Изучение распределения ТМ в различных органах земляники на примере одного сорта не позволяет объективно оценить весь спектр видовой реакции растений на повышение концентрации ТМ в окружающей среде. В работе С.М.Мотылёвой (2000) показаны достоверные сортовые различия в микроэлементном составе плодов земляники, выращиваемых в одинаковых экологических условиях. Например, в плодах сорта Редгонтлет содержалось в 2 раза больше Рb, чем в плодах Рубинового Кулона, и в 2 раза меньше, чем у сорта Зенит.

Даже для одного и того же сорта Редгонтлет результаты, полученные в вегетационных опытах Б.К. Цилу (1992), не согласуются с данными Е.М.Коваленко и др. (2004). Эти авторы сообщают, что у данного сорта в условиях реального техногенного загрязнения почвы Рb на уровне 1-2 ОДК_{вал.} наблюдалось превышение допустимого содержания Рb в плодах, в то время как в опытах Б.К.Цилу даже загрязнение почвы до 30 ОДК_{вал.} не вело к загрязнению продукции.

Всё сказанное свидетельствует о новизне наших исследований распределения ТМ в органах растения, проводившихся в условиях реального загрязнения с 4-мя сортами земляники.

Для каждого металла (Рb, Ni, Zn, Fe и Cu) мы наблюдали характерную картину, особенности которой зависели от физиологической значимости элемента, его химических свойств и уровня техногенной нагрузки. В то же время имели место существенные сортовые различия и значимое влияние агрофона (рисунки 2-6, таблицы 10-14).

Свинец. Большинство исследователей, изучавших распределение Рb в органах различных видов растений в естественных фитоценозах, полевых, вегетационных и лабораторных опытах, сообщают о преимущественном накоплении элемента в корнях (КюерреD.E. 1977, Businellyetal. 2011, Обуховская Т.Д. и др. 1983, М.В. Злобина 2010, Серёгин И.В. 2009, Вагун

И.В. 2009). Это связывают с инактивацией и депонированием значительных количеств Рb в результате образования малоподвижных соединений с пектинами клеточной оболочки, отложения на стенках клеток в виде кристаллов нерастворимых фосфатных комплексов (Серёгин И.В. 2009, Минкина Т.М. 2011). По отношению к Рb важнейшими барьерными тканями корня являются первичная кора и эндодерма.

Ю.Г. Маджугина (2008), изучавшая накопление ТМ в органах рудеральных растений на полигонах ТБО (т.е. в условиях реального загрязнения), наряду с вышеописанным характером распределения Рb по органам растений, наблюдала и более высокое (в 2...2,5 раза) содержание Рb в надземной части по сравнению с корнями у таких видов как полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris* L.) и щавель курчавый (*Rumex crispus* L.).

По среднему уровню накопления свинца во всех органах изучаемые сорта земляники можно разделить на 2 группы: сорта Рубиновый кулон и Богема содержали соответственно 0,344 и 0,428 мг/кг сухой массы, а у сортов Мамочка и Былинная этот показатель был достоверно выше (соответственно 0,648 и 0,651 мг/кг) (таблица 10). Рассмотрение особенностей накопления элемента в отдельных органах подтверждает существенные различия между этими группами сортов. Так у сортов Рубиновый кулон и Богема минимальная и максимальная концентрация свинца в органах растения различаются в 2,5 раза, а у сортов Мамочка и Былинная это различие гораздо больше (4 и 11 раз соответственно).

В вегетационных опытах Б.К.Цилу 80-95% поглощённого растениями земляники Рb аккумулировалось в многолетних органах. В наших исследованиях, на фоне невысокого содержания подвижных форм металла в почве (0,05 ПДК_{подв.}), постепенное снижение концентрации свинца в ряду «корни-корневища-листья-плоды» наблюдалось только у сорта Богема (рисунок 2).

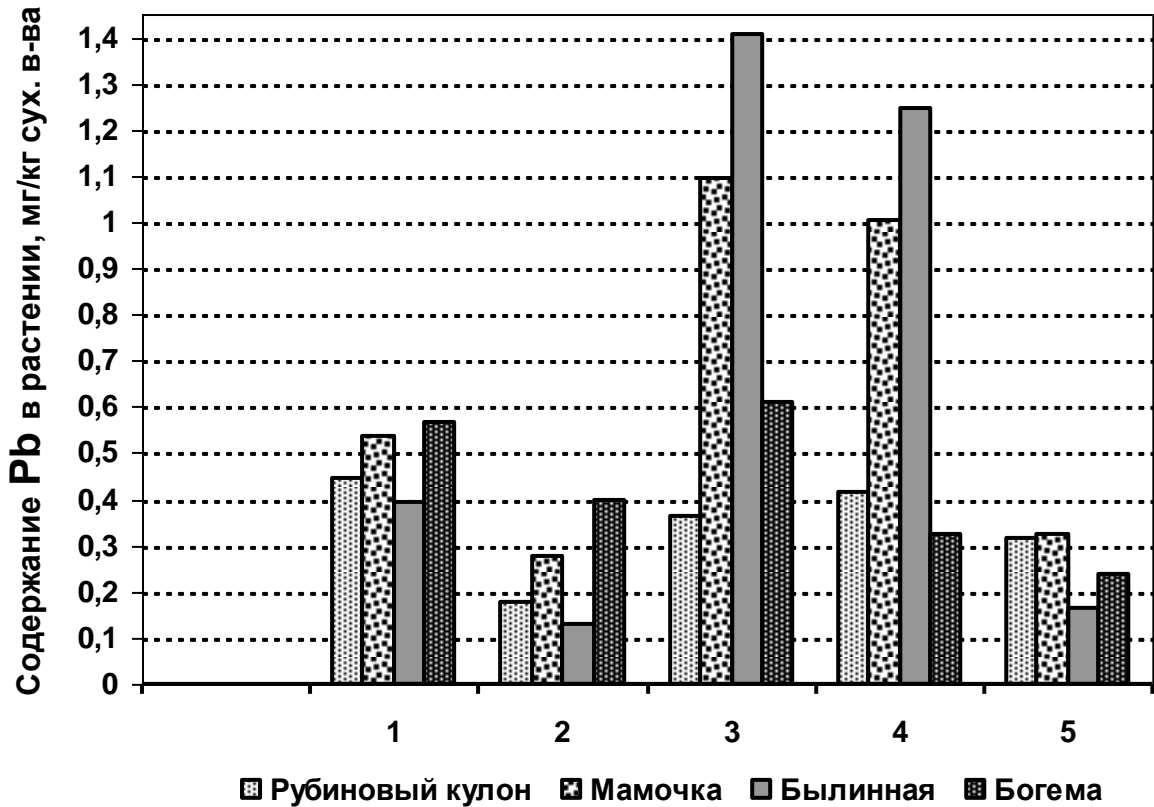


Рисунок 2 - Содержание **Pb** в органах земляники садовой, средние данные по 2-м агрофонам , 2007- 2008 гг (мг/кг сухого в-ва)

1- корни, 2- корневища, 3- черешки листьев, 4 – листовые пластинки, 5 – плоды

В среднем для четырёх изучаемых сортов, наименьшее содержание **Pb** было в корневищах и плодах земляники (0,244 и 0,261 мг/кг сухого в-ва соответственно). Наибольшее содержание – в черешках листьев (0,868 мг/кг) и листовых пластинках (0,748 мг/кг) (таблица 10).

У сортов Мамочка и Былинная листья содержали достоверно больше металла (в 3...4 раза), чем корни, что может быть связано с дополнительным фолиарным поглощением **Pb** из атмосферы. Также можно предположить, что данные сорта по физиологическим особенностям транспорта и накопления **Pb** ближе к группе растений-аккумуляторов, для которых характерно более интенсивное поступление элемента по сосудистым пучкам и накопление его в клетках эпидермы листьев и побегов.

Существует мнение (Серёгин 2009), что такие металлы как Pb, Cd и Ni не способны в какой-либо значительной степени проходить через плазмалемму клеток обкладки пучка и поступать в мезофилл. Это может быть объяснением наблюдавшемуся нами высокому содержанию Pb в черешках листьев.

Известно, что на растворимость и биодоступность соединений ТМ большое влияние оказывают свойства почв, биологические особенности культуры, а также вносимые минеральные удобрения. Систематическое применение минеральных удобрений в первую очередь вызывает в пахотных горизонтах изменения почвенно-химических условий, контролирующей подвижность элемента (Карпова, 2008). Вследствие изменения условий химического равновесия в почвенном поглощающем комплексе под влиянием минеральных удобрений может усиливаться конкуренция за сорбционные места, что сказывается на доступности катионов растениям. Для однолетних злаковых растений установлено, что внесение минеральных удобрений является эффективным приемом усиления физиологических барьерных функций растений по отношению к ТМ на границе «корень – надземные органы» (Соловьёва, Лебедева 2008). В работе Е.В.Леоничевой и соавт. (2010) показаны достоверные различия, наблюдавшиеся в накоплении Pb, Ni, Zn, Cu и Fe в плодах и листьях ягодных культур (смородины чёрной, малины и крыжовника) при изменении агрофона.

В нашем опыте накопление ТМ в органах растений земляники изучалась на двух агрохимических фонах – неудобренном и при внесении $N_{90}P_{90}K_{90}$. Средний уровень накопления Pb во всех органах был достоверно выше на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$ (таблица 10). Однако более высокое значение этого усреднённого показателя было получено преимущественно за счёт увеличения содержания Pb в черешках листьев у сортов Рубиновый кулон, Мамочка и Былинная. Если же рассматривать сортовые особенности накопления элемента в отдельных органах, то следует отметить, что при внесении удобрений у сорта Богема содержание Pb в черешках листьев и плодах было достоверно ниже, чем на неудобренном фоне, а также

наблюдалась тенденция к снижению концентрации Pb в других изучаемых органах.

У трёх других сортов, наряду с возрастанием содержания элемента в черешках листьев на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$, отмечена тенденция к более высокому содержанию его в плодах. Также достоверно больше Pb на удобренном фоне содержалось в листовых пластинках у сорта Мамочка (таблица 10).

Всё вышесказанное позволяет предположить, что при внесении удобрений у сортов Рубиновый кулон, Мамочка и Былинная усиливался поток Pb из корней в надземные органы, а у сорта Богема наоборот – снижался.

Таблица 10 - Содержание Рb в органах земляники садовой в зависимости от сорта и агрофона, 2007 – 2008 гг. (мг/кг сухого вещества)

Фактор А (Сорт)	Фактор В (органы растения)	Фактор С (агрофон)		$\bar{X} A$ НСР _{0,05} = 0,10	$\bar{X} AB$ НСР _{0,05} = 0,23	$\bar{X} B$ НСР _{0,05} = 0,11	
		Без удобрений	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀				
Рубиновый кулон	Корни	0,369	0,521	0,344	0,445	Корни 0,485	
	Корневища	0,195	0,162		0,178		
	Черешки листьев	0,199	0,526		0,362		
	Листовые пластинки	0,499	0,332		0,415		
	Плоды	0,199	0,434		0,316	Корневища 0,244	
Мамочка	Корни	0,695	0,378	0,648	0,536		
	Корневища	0,178	0,374		0,276		
	Черешки листьев	0,543	1,651		1,097		Черешки листьев 0,868
	Листовые пластинки	0,594	1,419		1,006		
	Плоды	0,214	0,434		0,324		
Былинная	Корни	0,502	0,288	0,651	0,395		
	Корневища	0,110	0,146		0,128		
	Черешки листьев	0,786	2,029		1,407	Листовые пластинки 0,748	
	Листовые пластинки	1,211	1,286		1,248		
	Плоды	0,152	0,177		0,164		
Богема	Корни	0,610	0,526	0,428	0,567	Плоды 0,261	
	Корневища	0,492	0,302		0,397		
	Черешки листьев	0,907	0,312		0,609		
	Листовые пластинки	0,389	0,262		0,325		
	Плоды	0,303	0,177		0,240		
$\bar{X} C$	НСР _{0,05} = 0,07	0,457	0,586				
		НСР BC _{0,05} = 0,16	НСР AC _{0,05} = 0,14	НСР ABC _{0,05} = 0,32			

Примечание: $\bar{X} A$ – среднее по фактору А (среднее содержание элемента во всех органах растения данного сорта); $\bar{X} B$ – среднее содержание элемента в органе у всех изучаемых сортов; $\bar{X} C$ – среднее содержание элемента в органах всех сортов на данном агрофоне; $\bar{X} AB$ – среднее по двум агрофонам содержание элемента в органах данного сорта

Никель. Валовое содержание Ni в почве нашего опытного участка было практически на уровне $ОДК_{вал}$, среднее содержание подвижных соединений – около $0,25 ПДК_{подв.}$. Региональный фон по Ni превышен в 2,6 раза. Таким образом, Ni является существенным загрязняющим компонентом в изучаемом агроценозе.

Согласно современным представлениям, Ni входит в число необходимых микроэлементов для бактерий и высших растений (Битюцкий, 2005, Серёгин, 2009). Вероятно, с этим может быть связана его относительно высокая подвижность в растениях. Слабая фиксация элемента корнями и более равномерное (по сравнению с другими ТМ) распределение его по органам разных видов растений показаны многими исследователями (Маджугина, 2008, Злобина, 2010, Бакланов, 2011 и др.).

Как и в отношении других ТМ, по характеру накопления Ni в надземных и подземных органах растения делят на исключатели и аккумуляторы. Причём, как показано в работах И.В. Серёгина (2009) и И.А. Бакланова (2011), даже виды, относящиеся к одному роду, могут иметь различные стратегии накопления Ni.

До настоящего времени, исследований особенностей накопления Ni в вегетативных органах земляники садовой разных сортов не проводилось. С.М. Мотылёва (2000) в своей работе показала существенные различия в накоплении этого элемента плодами земляники различных сортов. Например, содержание Ni у сорта Редгонтлет в 1,5 раза превышало содержание Ni в сорте Зенит, и было в 2 раза ниже, чем в плодах Рубинового Кулона.

В условиях нашего опыта Ni был распределён в растениях более равномерно, чем Pb. В среднем для четырёх изучаемых сортов, наименьшее содержание Ni было в корневиках и черешках листьев (соответственно 0,076 и 0,079 мг/кг сух. в-ва), наибольшее – в плодах (0,149 мг/кг сух. в-ва) (таблица 11).

Валовое содержание Ni в почве опытного участка в 1,3...1,7 раз больше, чем Pb, а содержание подвижных соединений в 3 раза больше. При этом все

изученные сорта в среднем по растению содержали Ni в 3...6 раз меньше, чем Pb (таблицы 10 и 11).

Среди четырёх изучаемых сортов наименьший средний уровень накопления Ni во всех органах был у сорта Рубиновый кулон (0,055 мг/кг сух.в-ва). Наибольший – у сорта Богема (0,139мг/кг сух.в-ва) (таблица 11). Несмотря на такие различия в среднем уровне накопления элемента, по характеру распределения Ni по органам, эти два сорта можно отнести к типу аккумуляторов – концентрация Ni возрастает в ряду «корни-корневища-листья-плоды» (рисунок 3). У Рубинового кулона концентрация Ni в плодах достоверно больше, чем в других органах, а у сорта Богема концентрация этого элемента в листьях достоверно выше, чем в корнях и корневищах, и достоверно ниже, чем в плодах (таблица 11).

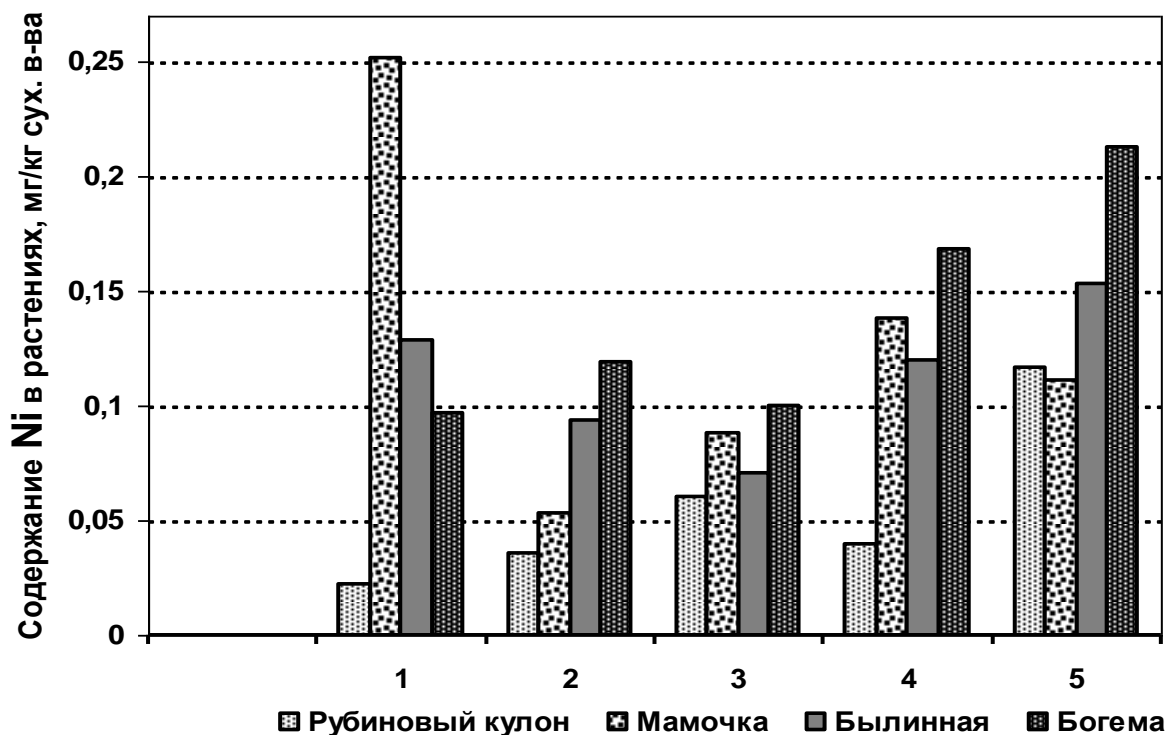


Рисунок 3 - Содержание Ni в органах земляники садовой, средние данные по 2-м агрофонам, 2007- 2008 гг (мг/кг сухого в-ва)
1- корни, 2- корневища, 3- черешки листьев, 4 – листовые пластинки, 5 – плоды

У двух других сортов наблюдался иной характер распределения Ni по органам. Сорт Мамочка отличался ярко выраженной фиксацией Ni в корнях (до 0,355 мг/кг сух. в-ва на неудобренном фоне). Содержание элемента во всех других органах у этого сорта было существенно ниже (рисунок 3, таблица 11). Сорт Былинная, из всех изучаемых сортов, имел наиболее равномерное распределение Ni в растении, однако у этого сорта тоже можно отметить тенденцию к накоплению элемента в корнях.

Различия между средними уровнями накопления Ni во всех органах изучаемых сортов на разных агрофонах были недостоверны (таблица 11). В то же время, содержание Ni в отдельно взятых органах конкретных сортов могло существенно различаться в зависимости от агрофона. Так на неудобренном фоне минимальное содержание Ni в плодах было у сорта Рубиновый кулон (0,073 мг/кг сух. в-ва), а у сорта Богема – достоверно выше, чем у трёх других сортов (0,271 мг/кг сух. в-ва). При внесении $N_{90}P_{90}K_{90}$ у первого сорта накопление Ni в плодах существенно увеличилось, а у второго – снизилось, и в результате стало практически одинаковым (0,160 и 0,154 мг/кг сухого в-ва соответственно у Рубинового кулона и Богемы).

Следует также отметить, что у сорта Рубиновый кулон различия в содержании Ni в вегетативных органах на разном агрофоне были незначительны. А у сорта Богема при внесении $N_{90}P_{90}K_{90}$ отмечено достоверное уменьшение концентрации элемента в корнях корневищах и черешках листьев.

У двух других сортов при внесении удобрений достоверного изменения содержания Ni в плодах не наблюдалось, однако, были различия в накоплении Ni вегетативными органами (таблица 11). Так на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$ у сорта Мамочка было выявлено достоверное снижение содержания Ni в корнях и возрастание его концентрации в листьях, в сравнении с неудобренным фоном. У Былинной в аналогичном случае достоверно увеличилось содержание элемента в корневищах и листовых пластинках.

Таблица 11 - Содержание Ni в органах земляники садовой в зависимости от сорта и агрофона, 2007 – 2008 гг. (мг/кг сухого вещества)

Фактор А (Сорт)	Фактор В (органы растения)	Фактор С (агрофон)		$\bar{X}A$ НСР _{0,05} = 0,02	$\bar{X}AB$ НСР _{0,05} = 0,04	$\bar{X}B$ НСР _{0,05} = 0,02
		Без удобрений	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀			
Рубиновый кулон	Корни	0,024	0,020	0,055	0,022	Корни 0,125
	Корневища	0,047	0,025		0,036	
	Черешки листьев	0,076	0,044		0,060	
	Листовые пластинки	0,035	0,044		0,040	
	Плоды	0,073	0,160		0,117	
Мамочка	Корни	0,355	0,149	0,128	0,252	Корневища 0,076
	Корневища	0,054	0,051		0,053	
	Черешки листьев	0,035	0,140		0,088	
	Листовые пластинки	0,046	0,229		0,138	Черешки листьев
	Плоды	0,129	0,092		0,111	
Былинная	Корни	0,109	0,149	0,114	0,129	0,079
	Корневища	0,048	0,139		0,094	
	Черешки листьев	0,098	0,044		0,071	Листовые пластинки
	Листовые пластинки	0,077	0,164		0,120	
	Плоды	0,158	0,149		0,153	
Богема	Корни	0,110	0,085	0,139	0,097	Плоды 0,149
	Корневища	0,167	0,071		0,119	
	Черешки листьев	0,132	0,068		0,100	
	Листовые пластинки	0,181	0,154		0,168	
	Плоды	0,271	0,154		0,213	
$\bar{X}C$ НСР _{0,05} = 0,01		0,111	0,106			
		НСР BC _{0,05} = 0,03 НСР AC _{0,05} = 0,03 НСР ABC _{0,05} = 0,06				

Примечание: $\bar{X}A$ – среднее по фактору А (среднее содержание элемента во всех органах растения данного сорта); $\bar{X}B$ – среднее содержание элемента в органе у всех изучаемых сортов; $\bar{X}C$ – среднее содержание элемента в органах всех сортов на данном агрофоне; $\bar{X}AB$ – среднее по двум агрофонам содержание элемента в органах данного сорта

Цинк является важным биогенным микроэлементом. Он требуется для синтеза хлорофилла, поддержания активности дыхательных ферментов и входит в состав фермента карбоангидразы, катализирующего разложение угольной кислоты на воду и CO_2 , далее используемый в фотосинтезе.

Как и Ni, Zn характеризуется высокой мобильностью в растениях. В отличие от Pb, Ni и Cd, Zn способен проходить через плазмалемму клеток обкладки пучка и обнаруживается не только в покровных и проводящих тканях листа, но и в мезофилле (Серёгин, 2009).

Сведения о распределении Zn по органам растений имеются в большом количестве научных работ, при этом авторы сообщают как об акропетальном, так и о базипетальном характере распределения элемента. Часто характер распределения Zn в растении зависит от уровня загрязнения почвы ТМ. Так в опытах Т.М.Минкиной и соавт. (2011) в течение 3-х лет опыта у ячменя ярового на незагрязнённом чернозёме выдерживалось следующее распределение Zn: зерно > корни > стебли. При загрязнении почвы до уровня $\text{ЗОДК}_{\text{вал}}$ распределение элемента по органам стало следующим: корни > стебли > зерно.

М.В.Злобина (2010) в своей работе показала противоположную тенденцию. У 17 видов сельскохозяйственных, дикорастущих и декоративных растений, относящихся к 9 различным семействам, выращиваемых на дерново-подзолистой почве с суммарными показателями загрязнения $Z_c = 12, 36$ и 60 , содержание Zn в надземной массе превышало содержание в корнях. На незагрязнённой почве у тех же видов растений корни содержали больше элемента, чем надземные органы.

И.В. Вагун и соавт. (2009) для двух сортов рапса выявили, что при уровне загрязнения почвы, обеспечивающем 50% снижение семенной продуктивности, Zn в растениях распределялся следующим образом: стебли > листья > корни > семена. На незагрязнённой почве имели место сортовые различия в распределении Zn, но у обоих сортов максимальный уровень накопления элемента имели листья, а минимальный – семена.

Сведения о содержании Zn в вегетативных органах ягодных культур незначительны и практически относятся только к листьям (Роева, 2008, Леонтьева, 2008; Зейналов и Сенновская, 2006). По результатам исследований Е.В.Леоничевой и соавт. (2010), листья смородины чёрной содержали в 20 раз больше Zn, чем ягоды, а листья крыжовника и малины – в 4...5 раз больше. Трудность оценки результатов этих авторов связана с тем, что они приводят данные о содержании ТМ в расчёте на сырую массу. Это затрудняет сопоставление их результатов с данными по другим культурам, приводимым, как правило, в мг/кг сухого вещества. Учитывая, что плоды ягодных культур содержат в несколько раз больше воды, чем листья, различия между содержанием Zn в листьях и плодах малины и крыжовника, приводимые последними авторами, могут быть несущественными.

В почве нашего опытного участка валовое содержание Zn составило 0,6 ОДК_{вал}, среднее содержание подвижных соединений – около 0,2 ПДК_{подв.}. Регионально-фоновое содержание Zn превышено в 5 раз. Содержание элемента в 1,5...2 раза выше фона уже свидетельствует об антропогенном влиянии на природный комплекс (Зырин и др., 1980).

У всех изученных нами сортов земляники в условиях нашего опыта плоды содержали существенно (в 4...20 раз) больше Zn цинка, чем листья, корневища и корни (Таблица 12, рисунок 4).

Среди четырёх изучаемых сортов наибольший средний уровень накопления Zn во всех органах был у сорта Рубиновый кулон (0,924 мг/кг сух.в-ва). Сорта Мамочка и Былинная содержали достоверно меньше Zn (0,679 и 0,705 мг/кг сух. в-ва соответственно). Наименьшее среднее содержание элемента во всех органах наблюдалось у сорта Богема (0,494 мг/кг сух. в-ва) (таблица 12).

Сортовые различия наблюдались и в распределении Zn по органам изучаемых сортов земляники. Заметная фиксация элемента в корнях наблюдалась у сорта Богема, а сорт Былинная накапливал Zn в корневищах

(рисунок 4). В результате содержание Zn в плодах Былинной и Богемы было в 1,5...2,5 раза ниже, чем у сорта Рубиновый кулон (таблица 12).

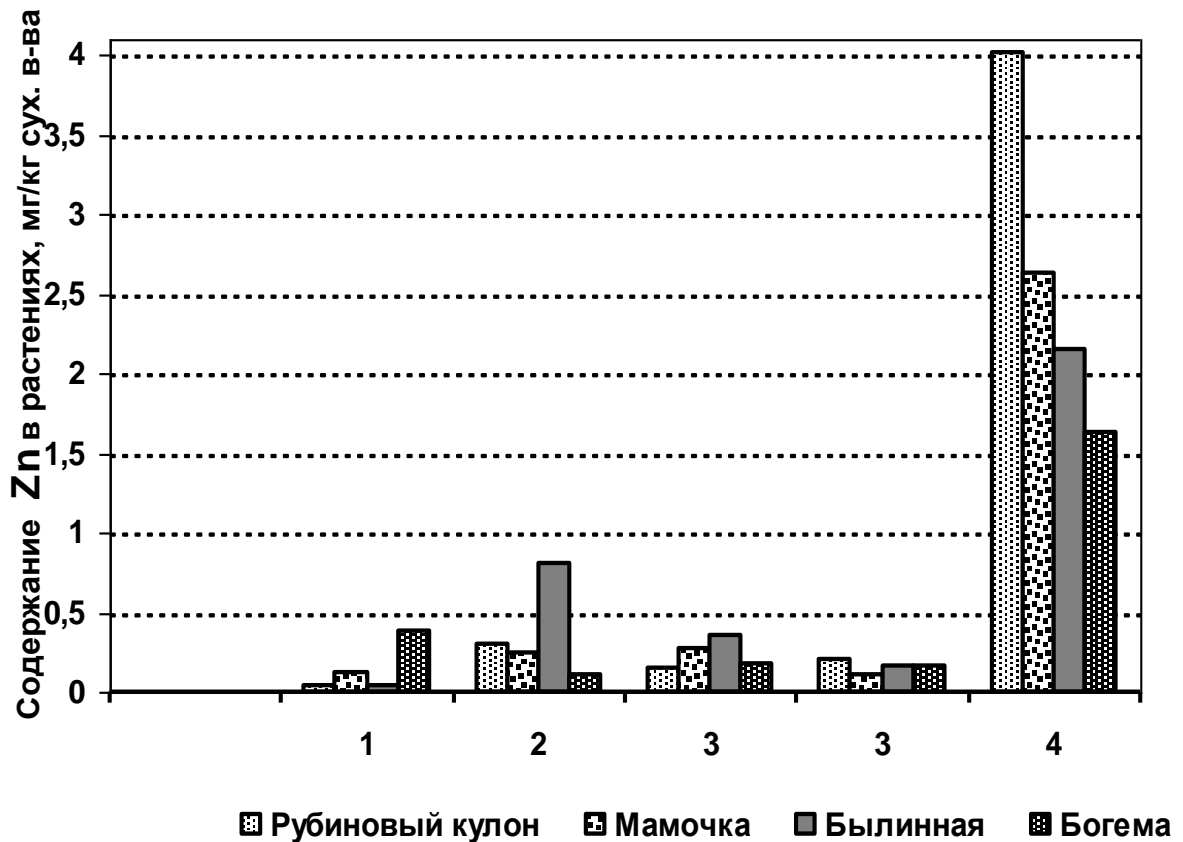


Рисунок 4 - Содержание Zn в органах земляники садовой, средние данные по 2-м агрофонам, 2007- 2008 гг (мг/кг сухого в-ва).

1- корни, 2- корневища, 3- черешки листьев, 4 – листовые пластинки, 5 – плоды

На неудобренном фоне и при внесении $N_{90}P_{90}K_{90}$ средние уровни накопления Zn во всех органах изучаемых сортов достоверно не различались (таблица 3). У каждого сорта в отдельности также не было достоверных различий в уровнях накопления Zn в вегетативных органах на разном агрофоне. В то же время у сортов Рубиновый кулон, Мамочка и Былинная содержание Zn в плодах на удобренном фоне было достоверно ниже, чем без удобрений.

Таблица 12 - Содержание Zn в органах земляники садовой в зависимости от сорта и агрофона, 2007 – 2008 гг. (мг/кг сухого вещества)

Фактор А (Сорт)	Фактор В (органы растения)	Фактор С (агрофон)		$\bar{X}A$ НСР _{0,05} = 0,22	$\bar{X}AB$ НСР _{0,05} = 0,48	$\bar{X}B$ НСР _{0,05} = 0,24
		Без удобрений	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀			
Рубиновый кулон	Корни	0,038	0,043	0,942	0,041	Корни 0,078
	Корневища	0,432	0,165		0,298	
	Черешки листьев	0,150	0,152		0,151	
	Листовые пластинки	0,207	0,195		0,201	
	Плоды	4,377	3,663		4,020	
Мамочка	Корни	0,189	0,055	0,679	0,122	Корневища 0,435
	Корневища	0,428	0,077		0,253	
	Черешки листьев	0,263	0,278		0,271	
	Листовые пластинки	0,045	0,185		0,115	Черешки листьев 0,239
	Плоды	3,726	1,543		2,634	
Былинная	Корни	0,031	0,040	0,705	0,036	0,239
	Корневища	0,836	0,787		0,812	
	Черешки листьев	0,295	0,425		0,360	Листовые пластинки 0,163
	Листовые пластинки	0,061	0,266		0,164	
	Плоды	2,419	1,890		2,154	
Богема	Корни	0,142	0,615	0,494	0,378	Плоды 2,610
	Корневища	0,039	0,186		0,113	
	Черешки листьев	0,171	0,179		0,175	
	Листовые пластинки	0,040	0,300		0,170	
	Плоды	1,531	1,739		1,635	
$\bar{X}C$ НСР _{0,05} = 0,15		0,771	0,639			
НСР BC _{0,05} = 0,34 НСР AC _{0,05} = 0,31 НСР ABC _{0,05} = 0,68						

Примечание: $\bar{X}A$ – среднее по фактору А (среднее содержание элемента во всех органах растения данного сорта); $\bar{X}B$ – среднее содержание элемента в органе у всех изучаемых сортов; $\bar{X}C$ – среднее содержание элемента в органах всех сортов на данном агрофоне; $\bar{X}AB$ – среднее по двум агрофонам содержание элемента в органах данного сорта.

Железо. Железо занимает особое место среди биогенных микроэлементов, так как в микроколичествах этот элемент содержится только в живых организмах, в то время как кларк железа в земной коре – 4,56% (по Виноградову). Соответственно, валовое содержание Fe в почвах велико и растения на почвах нечернозёмной зоны, как правило, не испытывают дефицита его доступных форм.

Физиологическая роль железа в растениях велика. В виде геминовой группировки оно входит в состав таких ферментов, как цитохромы, цитохромоксидаза, нитратредуктаза, нитритредуктаза, леггемоглобин, каталаза и пероксидаза. Цитохромная система является важнейшим компонентом дыхательной и фотосинтетической электротранспортной цепи. Важная роль железа в процессах фотосинтеза, дыхания и азотного обмена предполагает наличие этого элемента во всех органах растения.

Не вызывает сомнений важнейшая роль железа в обмене веществ человека и животных, так как железо входит в состав гемоглобина. Но в то же время, повышенное содержание железа в продуктах питания нежелательно, поэтому содержание железа в растительной продукции нормируется, хотя МДУ для этого элемента в несколько раз выше, чем для Cu и Zn, и на порядок выше МДУ для Pb и Ni.

Разнообразие соединений железа в почве, их трансформация и миграция хорошо изучены (Зонн, 1982). Но результаты этих исследований касаются важнейшей роли железа, как педоморфного элемента, соединения которого влияют на структуру и цвет почвенных горизонтов. Доступность соединений железа растениям изучена мало, поэтому содержание элемента в почве в настоящее время в РФ официально не нормируется, не определены уровни обеспеченности доступными формами железа для различных почв и культур.

В ряде работ экологической направленности рассматривается накопление Fe в органах древесных и травянистых растений в связи с оценкой уровня техногенного воздействия на экосистемы (Войтюк, 2011;

Саптарова, 2011). Показано, что Fe накапливается преимущественно в корнях и коре у древесных растений, а также в корнях - у травянистых.

Сведения о содержании железа в плодах и листьях ягодных культур имеются в работах Т.А. Роевой (2008) и Л.И. Леонтьевой (2008). Анализ этих работ показывает значительные видовые различия в накоплении элемента. Так содержание Fe в листьях смородины чёрной было в 60 раз выше, чем в плодах, в листьях крыжовника – в 7...8 раз выше, а плоды и листья малины, в расчёте на сырую массу, содержали одинаковое количество элемента.

С.М. Мотылёва (2000) сообщает, что содержание Fe в плодах земляники варьировало в пределах 3,44 – 0,69 мг/кг сырой массы в зависимости от сорта.

В нашем опыте наиболее высокий уровень накопления Fe в среднем по органам был у сорта Мамочка (2,936 мг/кг сухого в-ва). Сорта Былинная и Богема содержали Fe достоверно меньше (2,136 и 2,226 мг/кг сух.в-ва соответственно).

В среднем для четырёх изучаемых нами сортов наибольшее содержание Fe было в плодах (3,979 мг/кг сух. в-ва) и в корнях (3,530 мг/кг сух. в-ва). Корневища и черешки листьев содержали достоверно меньше Fe (2,140 и 2,019 мг/кг сух.в-ва соответственно). И, несмотря на важную роль Fe в процессах фотосинтеза, самый низкий уровень содержания элемента имели листья (0,984 мг/кг) (таблица 13).

Приведённая выше усреднённая картина накопления Fe органами земляники (преимущественное накопление элемента в корнях и плодах) соответствует характеру распределения Fe в растениях сортов Рубиновый кулон, Мамочка и Богема. Сорт Былинная отличался повышенной аккумуляцией Fe в корневищах и черешках листьев, а содержание элемента в листьях у этого сорта было наименьшим (рисунок 5, таблица 13).

Уровень содержания Fe в плодах сортов Рубиновый кулон и Мамочка (6,006 и 5,115 мг/кг сух. в-ва соответственно) был достоверно выше, чем у сортов Былинная (1,915 мг/кг сух. в-ва) и Богема (2,880 мг/кг сух. в-ва).

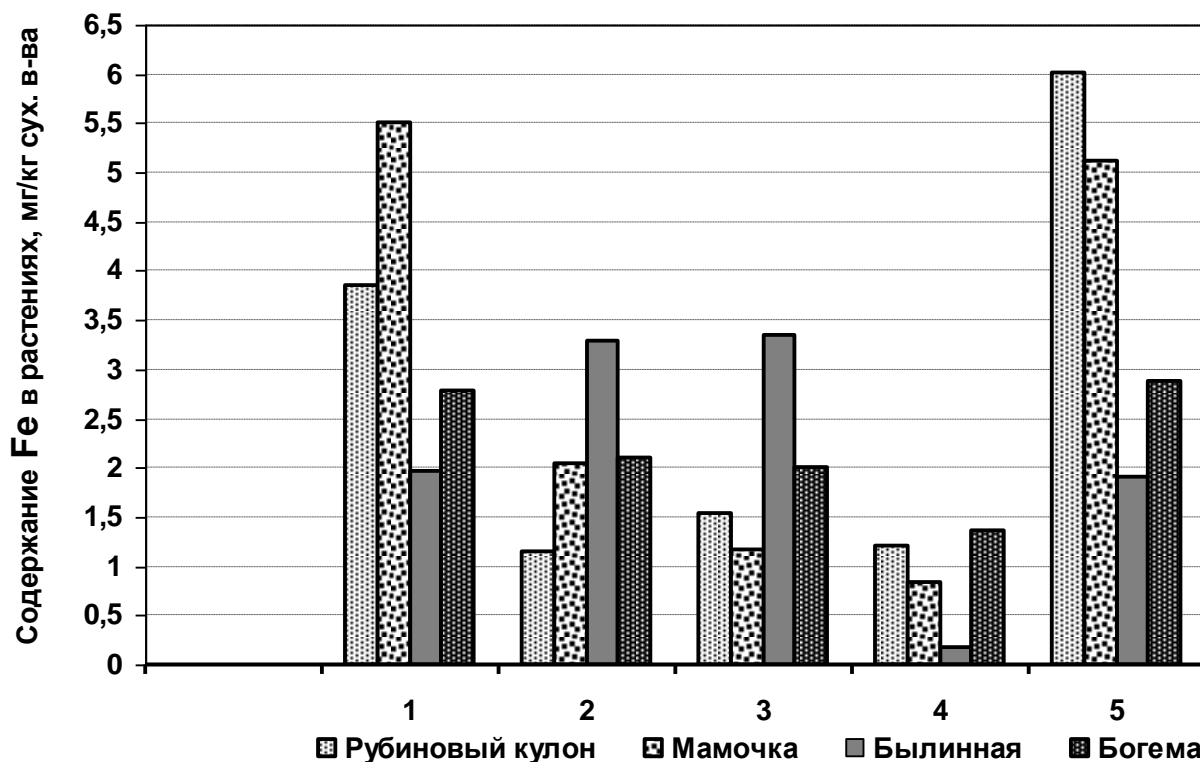


Рисунок 5 - Содержание Fe в органах земляники садовой, средние данные по 2-м агрофонам, 2007-2008 гг (мг/кг сухого в-ва)

1- корни, 2- корневища, 3- черешки листьев, 4 – листовые пластинки, 5 – плоды

У всех изучаемых сортов наблюдалась тенденция к уменьшению содержания железа в плодах на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$, по сравнению с неудобренным фоном. Но только у сорта Рубиновый кулон эти различия были достоверны. Также у этого сорта на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$ наблюдалось достоверно более высокое содержание Fe в листовых пластинках, а в корнях - достоверно более низкое (таблица 13). Достоверное увеличение концентрации железа в листовых пластинках при внесении минеральных удобрений отмечено также и для сорта Богема.

Значительные сортовые различия в накоплении Fe свидетельствуют, что поступление элемента определялось преимущественно потребностью самих растений.

Таблица 13 - Содержание Fe в органах земляники садовой в зависимости от сорта и агрофона, 2007 – 2008 гг. (мг/кг сухого вещества)

Фактор А (Сорт)	Фактор В (органы растения)	Фактор С (агрофон)		$\bar{X}A$ НСР _{0,05} = 0,56	$\bar{X}AB$ НСР _{0,05} = 1,25	$\bar{X}B$ НСР _{0,05} = 0,63
		Без удобрений	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀			
Рубиновый кулон	Корни	5,364	2,356	2,753	3,860	Корни 3,530
	Корневища	1,660	0,623		1,141	
	Черешки листьев	1,466	1,627		1,546	
	Листовые пластинки	0,339	2,085		1,212	
	Плоды	8,115	3,896		6,006	
Мамочка	Корни	5,521	5,512	2,936	5,516	Корневища 2,140
	Корневища	1,451	2,628		2,039	
	Черешки листьев	0,449	1,893		1,171	Черешки листьев
	Листовые пластинки	0,204	1,472		0,838	
	Плоды	5,312	4,918		5,115	
Былинная	Корни	1,668	2,257	2,136	1,963	2,019
	Корневища	2,654	3,917		3,286	
	Черешки листьев	3,216	3,473		3,345	Листовые пластинки
	Листовые пластинки	0,178	0,164		0,171	
	Плоды	2,278	1,552		1,915	
Богема	Корни	2,100	3,473	2,226	2,784	Плоды 3,979
	Корневища	1,480	2,708		2,094	
	Черешки листьев	1,519	2,508		2,014	
	Листовые пластинки	0,058	2,658		1,358	
	Плоды	3,111	2,649		2,880	
$\bar{X}C$ НСР _{0,05} = 0,40		2,407	2,618			
		НСР BC _{0,05} = 0,89 НСР AC _{0,05} = 0,79 НСР ABC _{0,05} = 1,77				

Примечание: $\bar{X}A$ – среднее по фактору А (среднее содержание элемента во всех органах растения данного сорта); $\bar{X}B$ – среднее содержание элемента в органе у всех изучаемых сортов; $\bar{X}C$ – среднее содержание элемента в органах всех сортов на данном агрофоне; $\bar{X}AB$ – среднее по двум агрофонам содержание элемента в органах данного сорта

Медь. Биогенный элемент медь в экологических условиях нашего опыта является приоритетным загрязнителем (содержание в почве выше $ОДК_{вал}$).

Важная роль меди в метаболизме растений в настоящее время не вызывает сомнений. Медь участвует в азотном и белковом обмене, активируя такие важные ферменты как нитратредуктаза и протеазы. Медьсодержащий белок – пластоцианин – входит в электронно-транспортную цепь фотосинтеза. С этим связано высокое содержание Cu в хлоропластах (75% от всего содержания её в листьях).

В то же время Cu часто выступает в роли поллютанта, что связано как с её высокой технофильностью, так и с широким применением медьсодержащих фунгицидов в сельском хозяйстве.

Аккумуляция Cu в органах растений земляники сорта Редгонтлет детально рассмотрена в работе Б.К. Цилу (1992). Уровни загрязнения почвы Cu , созданные в этих вегетационных опытах (в почву было внесено 20 и 40 мг/кг меди в виде $CuSO_4$), по валовому содержанию Cu сопоставимы с уровнем загрязнения нашего опытного участка. Исследователь сообщает, что на незагрязнённой почве Cu аккумулировалась в растениях следующим образом: листья > рожки (корневища) > плоды > корни. На загрязнённой почве, независимо от уровня загрязнения, наблюдался следующий ряд: листья > корни > рожки > плоды.

Картина, наблюдаемая нами в условиях реального техногенного загрязнения, в значительной мере была сходна с результатами Б.К. Цилу. У всех четырёх сортов земляники наибольшее содержание Cu было в корнях (1,820 мг/кг сух. в-ва) и черешках листьев (1,563 мг/кг сух. в-ва), наименьшее – в корневищах (0,512 мг/кг сух. в-ва) и плодах (0,537 мг/кг сух. в-ва) (таблица 14, рисунок 6).

Наиболее высокий уровень накопления Cu в среднем по растению был у сорта Былинная (1,153 мг/кг сух. в-ва). Сорта Рубиновый кулон и Мамочка имели близкий уровень содержания Cu (1,081 и 1,052 мг/кг сух. в-ва).

соответственно). Сорт Богема отличался достоверно меньшим накоплением элемента (0,778 мг/кг сух. в-ва).

Рассматривая сортовые различия в накоплении Cu отдельными органами растений прежде всего следует отметить, что в плодах больше всего Cu было у сорта Рубиновый кулон (0,918 мг/кг сух. в-ва), что было достоверно выше уровней накопления элемента плодами сортов Былинная (0,389 мг/кг сух. в-ва) и Богема (0,205 мг/кг сух. в-ва). Содержание Cu в плодах сорта Мамочка (0,637 мг/кг сух. в-ва) также было достоверно выше, чем у Богемы.

Кроме того, при значительном сходстве общей картины распределения Cu по органам всех сортов, сорт Мамочка отличался более высоким накоплением элемента в корнях. Сорта Рубиновый кулон и Былинная содержали достоверно больше Cu в листовых пластинках, чем Мамочка и Богема (рисунок 6, таблица 14)

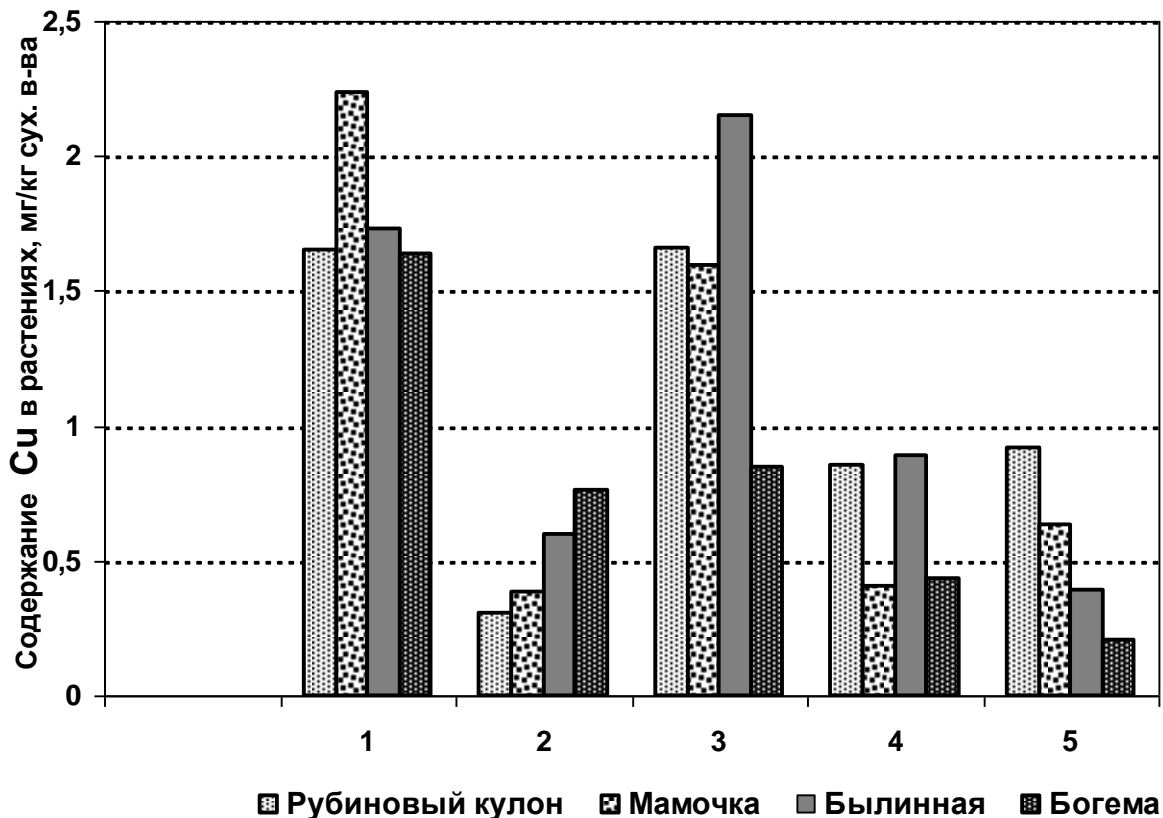


Рисунок 6 - Содержание Cu в органах земляники садовой, средние данные по 2-м агрофонам, 2007- 2008 гг. (мг/кг сухого в-ва)

1- корни, 2- корневища, 3- черешки листьев, 4 – листовые пластинки, 5 – плоды

Таблица 14 - Содержание Си в органах земляники садовой в зависимости от сорта и агрофона, 2007 – 2008 гг. (мг/кг сухого вещества)

Фактор А (Сорт)	Фактор В (органы растения)	Фактор С (агрофон)		$\bar{X}A$ НСР _{0,05} = 0,14	$\bar{X}AB$ НСР _{0,05} = 0,31	$\bar{X}B$ НСР _{0,05} = 0,15
		Без удобрений	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀			
Рубиновый кулон	Корни	1,781	1,562	1,081	1,672	Корни 1,820
	Корневища	0,335	0,271		0,303	
	Черешки листьев	1,681	1,633		1,657	
	Листовые пластинки	1,106	0,609		0,857	
	Плоды	1,020	0,815		0,918	
Мамочка	Корни	2,082	2,393	1,052	2,238	Корневища 0,512
	Корневища	0,286	0,486		0,386	
	Черешки листьев	1,354	1,837		1,596	
	Листовые пластинки	0,347	0,469		0,408	Черешки листьев 1,563
	Плоды	0,721	0,554		0,637	
Былинная	Корни	1,651	1,813	1,153	1,732	1,563
	Корневища	0,556	0,664		0,600	
	Черешки листьев	2,364	1,941		2,153	Листовые пластинки 0,649
	Листовые пластинки	1,066	0,720		0,893	
	Плоды	0,358	0,420		0,389	
Богема	Корни	1,627	1,652	0,778	1,639	Плоды 0,537
	Корневища	0,914	0,609		0,762	
	Черешки листьев	0,412	1,284		0,848	
	Листовые пластинки	0,427	0,448		0,437	
	Плоды	0,205	0,205		0,205	
$\bar{X}C$ НСР _{0,05} = 0,07		1,951	1,018			
		НСР ВС _{0,05} = 0,16 НСР АС _{0,05} = 0,14 НСР АВС _{0,05} = 0,32				

Примечание: $\bar{X}A$ – среднее по фактору А (среднее содержание элемента во всех органах растения данного сорта); $\bar{X}B$ – среднее содержание элемента в органе у всех изучаемых сортов; $\bar{X}C$ – среднее содержание элемента в органах всех сортов на данном агрофоне; $\bar{X}AB$ – среднее по двум агрофонам содержание элемента в органах данного сорта

Наблюдаемый нами характер распределения меди по органам земляники в значительной мере был сходен с распределением свинца: высокое содержание обоих элементов отмечено в корнях и в черешках листьев, минимальное – в плодах и корневищах (рисунки 2 и 6, таблицы 10 и 14).

В отношении сортовых особенностей накопления Pb и Cu следует отметить, что из четырёх изучаемых сортов только у сорта Богема для обоих элементов наблюдалось постепенное снижение концентрации в ряду «корни-корневища-листья-плоды» (рисунки 2 и 6).

Б.К.Цилу в своих исследованиях также отметил высокую фиксацию Pb и Cu корнями земляники, однако по результатам его исследований, сопоставлять поведение в растениях этих двух элементов затруднительно, так как в его опытах концентрации Pb в почве превышают концентрации Cu в 50...100 раз.

Валовое содержание Cu в почве нашего опытного участка превышает содержание Pb в 2,3...3,7 раза, с учётом естественной пестроты участка и глубины отбора образцов. Средние уровни накопления Cu растениями земляники в наших исследованиях превышали уровни накопления Pb в 1,62...3,14 раза, то есть накопление Cu и Pb растениями земляники отражало соотношение концентраций этих элементов в окружающей среде.

Исследователи, изучающие процессы трансформации соединений ТМ в почве, часто объединяют Pb и Cu в группу элементов, для которых характерна тесная связь с органическим веществом почвы и соединениями Fe и Mn (Плеханова, 2008, Минкина, 2008). ОДК валового содержания Pb и Cu в почвах также почти одинаковы («Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжёлых металлов и мышьяка в почвах...» -Госкомсанэпиднадзор России, 1995). В то же время, в работах посвящённых изучению особенностей накопления ТМ различными видами растений, Pb и Cu не сопоставляют, так как относят к разным группам, соответственно «токсичных» и «биогеохимических» микроэлементов.

Отмеченное нами сходство в особенностях распределения Рb и Cu по органам растений земляники, показывает возможность конкурентных взаимоотношений катионов этих металлов в процессах поступления в растение из окружающей среды и дальнейшего транспорта в растении.

В своём опыте мы наблюдали также и важное различие в характере распределения Рb и Cu по органам растения: листья всех изучаемых сортов земляники содержали Cu существенно меньше, чем корни. Можно предположить, что корневое поглощение меди, в условиях опыта, существенно преобладало над фолиарным, и при этом эффективно действовал физиологический барьер, препятствующий излишнему поступлению элемента в надземные органы.

Среднее содержание Cu в органах земляники на неудобренном фоне было достоверно больше, чем при внесении $N_{90}P_{90}K_{90}$ (таблица 14). Это достоверное различие было получено за счёт изменения содержания элемента в черешках листьев и листовых пластинках. У сорта Рубиновый кулон при внесении $N_{90}P_{90}K_{90}$ достоверно уменьшилось содержание Cu в листовых пластинках, у сорта Мамочка – в черешках листьев, у сорта Былинная – в черешках и листовых пластинках. У сорта Богема, в отличие от трёх других сортов, содержание Cu в черешках листьев на удобренном фоне достоверно возросло.

Если вернуться к данным таблицы 10, то можно увидеть, что изменение агрофона оказывало противоположное влияние на поступление Рb в листья земляники. У сортов Рубиновый кулон, Мамочка и Былинная усиливался поток Рb в листья, а у сорта Богема наоборот – снижался.

Однако, в отношении биогенного элемента Cu, вряд ли можно предполагать ослабление поступления в растение при улучшении условий минерального питания. Уменьшение среднего содержания Cu в органах растений при внесении удобрений скорее можно объяснить ростовым разбавлением.

Полученные нами данные о содержании ТМ в различных органах растений земляники использованы для сравнительной характеристики особенностей накопления изучаемых элементов каждым сортом (таблица 15). Для этого были рассчитаны транслокационные коэффициенты, характеризующие интенсивность передвижения каждого элемента из корней в плоды и листья растений.

Транслокационный коэффициент (ТК) рассчитывается как отношение содержания элемента в надземной массе растения к содержанию в корнях (Злобина, 2010). Этот показатель не только характеризует интенсивность перемещения элемента между органами растений, но также отражает работу физиологических барьеров.

Величина $ТК \ll 1$ свидетельствует о фиксации элемента в корнях растений. Если значение $ТК \approx 1$ – элемент распределён в растении равномерно, $ТК \gg 1$ свидетельствует о накоплении элемента в надземных органах.

В экологических исследованиях ТК часто применяются при выявлении растений-гипераккумуляторов ТМ, с целью их дальнейшего использования для фиторемедиации загрязнённых земель.

Так как наши исследования направлены на разработку элементов адаптивной технологии выращивания **экологически безопасной продукции земляники**, мы рассчитывали величины коэффициентов транслокации не в среднем для надземной массы растения, а для листьев и плодов отдельно.

Концентрация ТМ в надземных органах растения определяется не только интенсивностью его переноса. В работе И.А. Бакланова (2011) показано, что у близкородственных видов растений, имеющих аналогичный тип распределения ТМ по органам (гипераккумуляторы либо исключатели), концентрации ТМ в одних и тех же органах при одинаковых условиях выращивания могут различаться в несколько раз. Поэтому следует учитывать и собственно количество элемента, поступившее в растение из окружающей среды. В связи с этим для комплексной характеристики накопления и

транслокации ТМ в растениях земляники мы указываем также средний уровень содержания ТМ в растении каждого сорта (таблица 15).

Таблица 15 - Комплексные показатели накопления и транслокации ТМ в растениях земляники, 2007-2008 гг.

Элемент	Показатель	Сорт			
		Рубиновый кулон	Мамочка	Былинная	Богема
Pb	Средний уровень накопления, мг/кг сухого в-ва	0,344	0,684	0,651	0,428
	ТК (лист)	0,932	1,876	3,159	0,573
	ТК (плод)	0,710	0,604	0,415	0,423
Ni	Средний уровень накопления, мг/кг сухого в-ва	0,055	0,128	0,114	0,139
	ТК (лист)	1,818	0,547	0,930	1,731
	ТК (плод)	5,318	0,440	1,186	2,195
Zn	Средний уровень накопления, мг/кг сухого в-ва	0,942	0,679	0,705	0,494
	ТК (лист)	4,902	0,942	4,277	0,449
	ТК (плод)	98,048	21,59	59,833	4,325
Fe	Средний уровень накопления, мг/кг сухого в-ва	2,75	2,94	2,14	2,23
	ТК (лист)	0,313	0,151	0,087	0,487
	ТК (плод)	4,955	0,927	0,975	1,034
Cu	Средний уровень накопления, мг/кг сухого в-ва	1,081	1,052	1,153	0,778
	ТК (лист)	0,512	0,182	0,515	0,224
	ТК (плод)	0,549	0,284	0,224	0,125

Средний уровень накопления Pb и Ni у сорта **Рубиновый кулон** - наименьший среди изученных сортов (таблицы 1, 2, 6). При этом растения данного сорта имеют физиологические барьеры, препятствующие

поступлению в Рb плоды, но транслокация Рb из корней в листья слабо ограничена (ТК Рb (лист) = 0,932). По-видимому, у растений сорта Рубиновый кулон нет барьеров, препятствующих переносу Ni внутри растения, а невысокий уровень накопления элемента объясняется слабым проникновением его из окружающей среды (содержание Ni в корнях в 4...10 раз меньше, чем у других сортов, содержание в листьях – в 2...4 раза меньше).

Данный сорт характеризуется наибольшим накоплением Zn (0,942 мг/кг в среднем по растению). При этом Zn, как и Ni, беспрепятственно транспортируется в надземные органы (ТК Zn (лист) и ТК Zn (плод) – наибольшие среди изученных сортов).

Также в плодах этого сорта интенсивно накапливается Fe (ТК Fe (плод) = 4,955).

Величины ТК Cu (лист) и ТК Cu (плод) меньше 1, что говорит о наличии барьеров, препятствующих поступлению элемента в листья и плоды Рубинового кулона. Однако, у других сортов эти барьеры более эффективны (величины ТК Cu (плод) в 1,9...4,4 раза меньше). В результате плоды Рубинового кулона имели в условиях нашего опыта самое высокое содержание Cu (таблица 14, рисунок 6).

Средний уровень накопления Рb в растениях сорта **Мамочка** почти в 2 раза больше, чем у сорта Рубиновый кулон (таблицы 10, 15). При этом концентрация Рb в плодах этих сортов почти не различалась (Таблица 1). Это объясняется тем, что у сорта Мамочка накопление Рb происходит преимущественно в листьях (ТК Рb (лист) = 1,876).

У сорта Мамочка, единственного из всех изученных сортов ТК Ni (лист) и ТК Ni (плод) значительно меньше 1. В результате эффективной работы корневого барьера этот сорт имел самое низкое содержание Ni в плодах.

Как и для всех других изучаемых сортов земляники, ТК Zn (плод) у сорта Мамочка намного больше 1. Накопление Zn в плодах, по-видимому,

свойственно культуре в целом. В вегетативных органах сорта Мамочка Zn распределён более равномерно, чем у других сортов ($TK\ Zn\ (\text{лист}) = 0,942$).

Интенсивного поступления Fe в листья и плоды сорта Мамочка в нашем опыте не наблюдалось.

Средний уровень накопления Cu в растениях сортов Мамочка и Рубиновый кулон почти одинаков (соответственно 1,052 и 1,081 мг/кг сух. в-ва). Однако у сорта Мамочка эффективнее действует корневой барьер в отношении Cu, поэтому $TK\ Cu\ (\text{лист})$ и $TK\ Cu\ (\text{плод})$ у этого сорта заметно ниже.

У растений сортов **Былинная** и Мамочка средние уровни содержания Pb практически одинаковы (соответственно 0,651 и 0,648 мг/кг сухого в-ва). При этом у сорта Былинная накопление Pb в листьях происходит значительно интенсивнее, ($TK\ Pb\ (\text{лист}) = 3,159$), а в плодах – слабее, чем у трёх других сортов ($TK\ Pb\ (\text{плод}) = 0,415$).

Ni в растениях сорта Былинная распределён равномерно: значения $TKNi(\text{лист})$ и $TK\ Ni\ (\text{плод})$ близки к 1. В результате плоды этого сорта накапливают достоверно больше Ni, чем плоды Мамочки, имеющей эффективный корневой барьер по отношению к Ni.

По интенсивности процессов поступления Zn из корней в надземные органы сорт Былинная сходен с сортом Рубиновый кулон. У обоих этих сортов Zn в корнях практически не фиксируется, а поступает в надземные органы.

Процессы поступления и транслокации Fe в растениях сорта Былинная сходны с таковыми у сортов Мамочка и Богема.

Средний уровень накопления Cu у сорта Былинная достоверно не отличается от накопления этого элемента в растениях сортов Рубиновый кулон и Мамочка. Но в отличие от этих сортов, у Былинной Cu интенсивнее поступает в листья ($TKCu\ (\text{лист}) > TK\ Cu\ (\text{плод})$). В результате у этого сорта содержание Cu в плодах ниже на 40...60%.

Сорт **Богема** содержит в среднем по растению достоверно меньше Рb, чем сорта Мамочка и Былинная, и достоверно больше, чем Рубиновый кулон. Однако, ТК Рb (лист) и ТК Рb (плод) у Богемы ниже, чем у Рубинового кулона, и соответственно меньше содержание Рb в надземных органах. В то же время, плоды сорта Былинная, фиксирующего максимальное количество Рb в листьях защищены от накопления этого элемента лучше, чем плоды Богемы.

В условиях нашего опыта растения сорта Богема отличались наибольшим средним уровнем накопления Ni и ярко выраженным акропетальным распределением этого элемента по органам. В результате интенсивного проникновения Ni в растения и активного переноса элемента в надземные органы, плоды сорта Богема содержали Ni больше, чем плоды других изучаемых сортов.

У сорта Богема мы наблюдали достоверно более низкое содержание Zn и Cu в растении, чем у трёх других сортов. Транслокационные коэффициенты этих элементов также были существенно более низкими (таблица 15). Благодаря более слабому поступлению Zn и Cu из окружающей среды и эффективной работе внутренних барьеров, у сорта Богема Zn и Cu в плодах содержалось меньше, чем у других сортов (таблицы 12 и 14).

Таким образом, сравнение особенностей накопления Рb, Ni, Zn, Fe и Cu каждым из 4-х изучаемых сортов земляники показало, что:

- эффективные барьеры, позволяющие снизить поступление Рb в плоды, имеют сорта Былинная (накапливает Рb преимущественно в листьях) и Богема (поглощает меньше Рb из окружающей среды и удерживает его в корнях);

- сорт Мамочка, единственный из 4-х изученных сортов имеет корневой барьер, препятствующий накоплению в плодах Ni; также в условиях повышенного содержания Ni в почве хорошо проявил себя сорт Рубиновый кулон, характеризующийся низким поступлением этого элемента из окружающей среды;

- сорт Богема лучше других сортов защищён от поступления в плоды повышенных количеств Zn и Cu , что может быть связано с пониженным поступлением этих элементов из окружающей среды, эффективной работой внутренних барьеров в растении, также для этого сорта возможен эффект «ростового разбавления».

Ни один из изученных сортов не обладал эффективной защитой против накопления в плодах сразу всех загрязнителей, воздействовавших на растения в условиях нашего опыта. Так сорт Богема, имевший защитные механизмы, снижающие поступление в плоды Pb , Zn и Cu , накапливал Ni интенсивнее других сортов. В плоды Рубинового кулона и Мамочки, защищённые от накопления Ni , поступало больше Pb и Cu .

Согласно результатам наших исследований, в условиях полиэлементного загрязнения затруднительно подобрать сорт земляники, одинаково хорошо защищённый от накопления в плодах всех загрязнителей. Подбор сортов должен сочетаться с элементами агротехники, снижающими поток ТМ из окружающей среды в растения.

ГЛАВА 4

**СРАВНЕНИЕ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ
НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПЛОДАМИ ЗЕМЛЯНИКИ****4.1. Влияние мелиорантов на содержание доступных растениям форм
ТМ в условиях техногенного загрязнения**

Наиболее значимую с экологической точки зрения группу ТМ в почве представляют непрочносвязанные соединения, поскольку они поступают в растения и мигрируют в другие сопредельные среды. Важную роль в закреплении подвижных форм ТМ почвой играют процессы ионного обмена и адсорбции. Агроприёмы, усиливающие эти процессы в почве, могут снизить содержание наиболее доступных растениям форм ТМ.

Из известных в настоящее время способов снижения поступления ТМ в растительную продукцию нами были исследованы такие агроприёмы как цеолитизация и известкование.

Известно, что применение извести в дозе 2 т/га на серой лесной почве с повышенным содержанием тяжелых металлов, снижало поступление никеля и меди в растения смородины черной и увеличивало поступление свинца, меди и железа (Роева, 2010).

Поскольку известкование является агроприёмом, радикально влияющим на основные процессы трансформации ТМ в системе «почва-растение» (Ильин, 1991; Обухов, Плеханова, 1995; Овчаренко и др., 2005), в схему нашего опыта был включён вариант с внесением извести в дозе 2 т/га, выбранной согласно рекомендациям по возделыванию земляники в Нечернозёмной зоне России («Система производства...», 2005).

Высокая эффективность использования цеолитсодержащих пород для связывания ТМ в почвах и снижения их поступления в растения показана в исследованиях многих авторов (Белоусов В.С, 2006; Понизовский и др.

2003). При этом практические аспекты применения цеолитсодержащих пород при возделывании разных культур в разных почвенно-климатических условиях разработаны недостаточно, поскольку цеолиты различных месторождений имеют весьма широкий спектр агрохимических показателей.

В работах Т.А. Роевой (2008) и Л.И. Леонтьевой (2008), проведённых в условиях агрогенного загрязнения почвы ТМ, показано, что внесение цеолитсодержащих трепелов Хотынецкого месторождения (Орловская область) в дозах 3-10 т/га на серой лесной среднесуглинистой почве, имеющей содержание ТМ, превышающее фоновое в 2-6 раз, является эффективным приёмом, позволяющим уменьшить поступление ТМ в ягоды смородины чёрной, малины и крыжовника на 20-70% в зависимости от культуры.

В нашем опыте в качестве цеолитсодержащего мелиоранта также была использована цеолитсодержащая порода (ЦСП) Хотынецкого месторождения. Дозы ЦСП подобраны по результатам изучения влияния цеолитизации на содержание ТМ в почве нашего опытного участка, которое в 2005-2008 гг. проводилось М.Н.Кузнецовым и соавторами. Результаты этих исследований показывают, что в условиях повышенной техногенной нагрузки, при уровне содержания ТМ в 2,5...5 раз выше фона, эффективно снижают подвижность ТМ в почве дозы ЦСП Хотынецкого месторождения не ниже 15...16 т/га (Кузнецов, 2009). В нашем опыте под культуру земляники были внесены 15 и 25 т/га этого мелиоранта.

Т.А. Роева (2008) в полевом опыте со смородиной чёрной показала, что эффективность цеолитсодержащей породы, как инактиватора ТМ в системе «почва-растение» существенно зависит от агрохимического фона. Поэтому мы вносили ЦСП под землянику как на неудобренном фоне, так и совместно с $N_{90}P_{90}K_{90}$.

В конце второго периода вегетации мы не наблюдали существенных различий между вариантами по валовому содержанию ТМ в почве (таблица 9).

В то же время внесение ЦСП оказало влияние на содержание подвижных Ni, Zn и Cu (таблица 17). Поскольку валовое содержание ТМ существенно не изменилось, снижение содержания подвижных форм Ni, Zn и Cu можно объяснить адсорбирующим действием мелиоранта.

Эффективность использованных в опыте доз ЦСП зависела от вида металла и агрофона (рисунок 7).

Как на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$, так без удобрений – внесения 15 т/га цеолита было недостаточно для снижения подвижности Ni. Достоверное снижение содержания подвижного Ni отмечено только при внесении 25 т/га без минеральных удобрений.

Внесение минеральных удобрений привело к достоверному увеличению содержания подвижного Zn в 1,8 раз. Эффективность влияния цеолита на подвижность Zn зависела от агрофона. Например, на неудобренном фоне достоверное снижение содержания Zn отмечено только при внесении 25 т/га цеолита. В то же время на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$ эта доза была неэффективной, а достоверно снижало содержание Zn внесение 15 т/га.

Как на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$, так без внесения удобрений содержание подвижной Cu достоверно уменьшилось при внесении 15 т/га цеолита, а доза 25 т/га была неэффективной.

Таким образом, использование Хотынецкого цеолита в дозах 15 и 25 т/га уменьшило содержание доступных растениям форм Ni, Cu и Zn в светло-серой лесной почве при повышенной техногенной нагрузке.

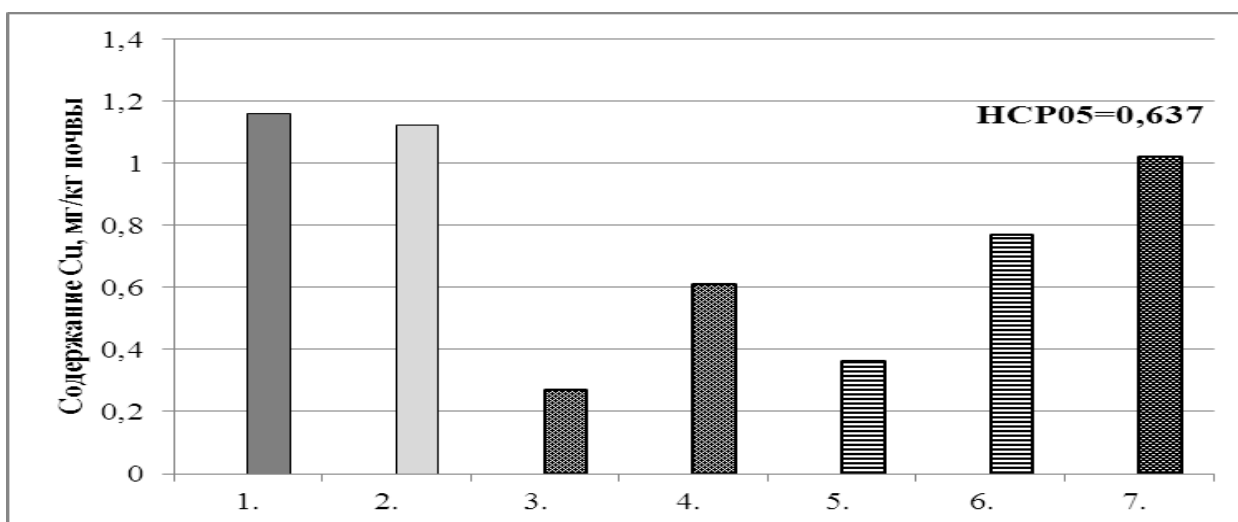
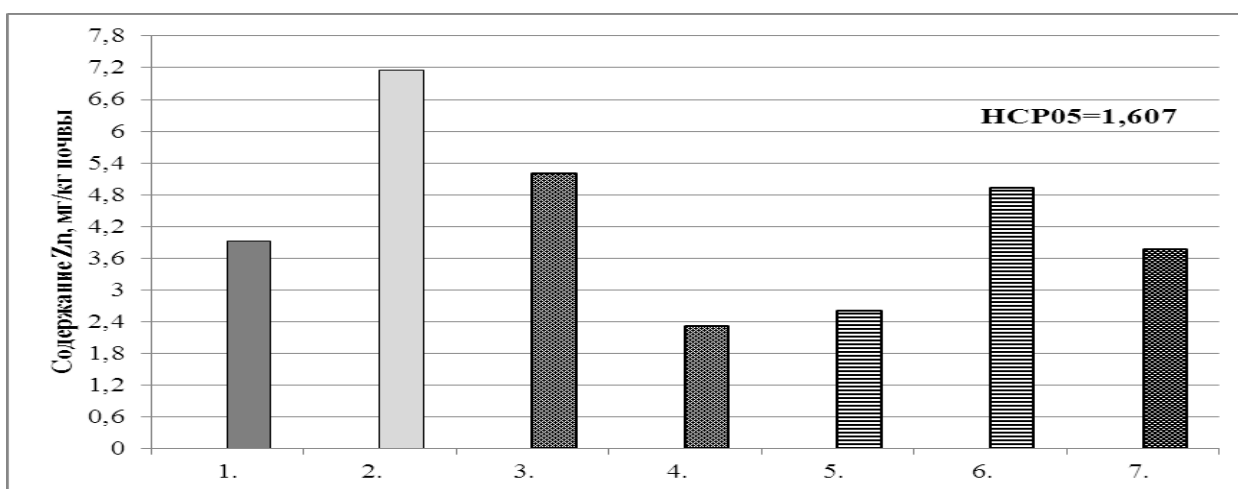
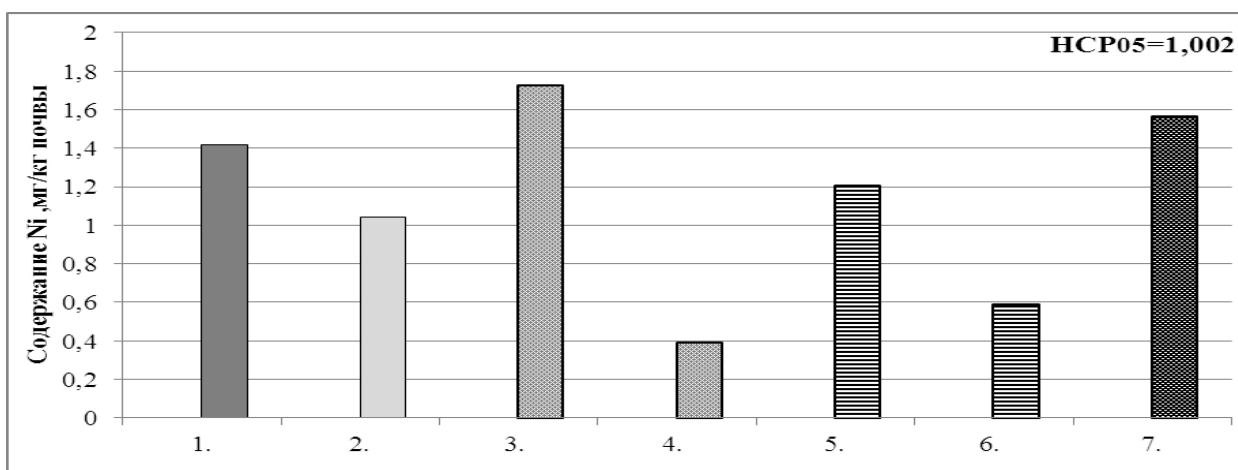
Внесение 2т/га извести не привело к достоверному снижению содержания подвижных Pb, Ni, Zn и Cu (таблица 17).

Таблица 16 - Валовое содержание ТМ в почве по окончании 2-го периода вегетации (2007 г), мг/кг

Вариант	Pb	Ni	Zn	Cu
1. Контроль	26,16	32,16	86,15	67,00
2. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	24,83	33,16	63,00	69,00
3. ЦСП 15 т/га	24,83	34,33	63,54	69,16
4. ЦСП 25 т/га	22,66	32,66	87,95	66,00
5. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + ЦСП 15 т/га	24,16	38,16	67,05	57,00
6. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + ЦСП 25 т/га	23,16	36,13	52,17	51,00
7. Известь, 2 т/га	24,83	33,50	65,42	70,16
$F_{\phi} < F_T$				

Таблица 17 - Содержание подвижных форм ТМ в почве по окончании 2-го периода вегетации (2007 г), мг/кг

Вариант	Pb	Ni	Zn	Cu
1.Контроль	0,453	1,419	3,923	1,161
2.N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,694	1,042	7,150*	1,124
3.ЦСП 15 т/га	1,428	1,727	5,191	0,270*
4.ЦСП 25 т/га	0,064	0,395*	2,315*	0,613
5.N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + ЦСП 15 т/га	0,260	1,210	2,606	0,363*
6.N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + ЦСП 25 т/га	0,076	0,589	4,925	0,771
7. Известь, 2 т/га	0,641	1,567	3,751	1,023
НСР ₀₅	$F_{\phi} < F_T$	1,002	1,607	0,637



Варианты опыта

Рисунок 7 - Содержание в почве подвижных форм ТМ по окончании 2-го периода вегетации, мг/кг почвы

варианты опыта: 1 – контроль; 2 – ЦСП 15 т/га; 3 – ЦСП 25 т/га;
 4 - N₉₀P₉₀K₉₀; 5 - N₉₀P₉₀K₉₀ + ЦСП 15 т/га;
 6 - N₉₀P₉₀K₉₀ + ЦСП 25 т/га; 7 – известь 2 т/га

Также были изучены агрохимические показатели почвы по вариантам опыта по окончанию 1-го и 2-го периодов вегетации (таблицы 1 и 2 в приложении 2).

В первый период вегетации отмечено достоверное увеличение по сравнению с контролем обменной кислотности почвы (pH_{KCl}) в варианте с известью 2 т/га. Последствие 2 т/га извести на показатели кислотности почвы продолжалось и во 2-ой вегетационный период.

В первый период вегетации достоверно более высокое содержание подвижного фосфора в почве отмечено в вариантах 2 т/га извести и 25 т/га цеолита на фоне минеральных удобрений. Действие цеолита на содержание подвижного фосфора в почве было неодинаковым в зависимости от агрофона. При внесении цеолита на неудобренном фоне содержание подвижного фосфора снижалось по сравнению с контролем. Внесение цеолита на удобренном фоне приводило к незначительному увеличению содержания подвижного фосфора по сравнению с фоном минеральных удобрений (в среднем на 2,5 мг/100 г почвы).

Достоверно более высокое содержание обменного калия в первый период вегетации отмечено в вариантах с дозой цеолита 15 т/га на неудобренном фоне и с дозой цеолита 25 т/га на фоне минеральных удобрений.

Достоверного влияния цеолита на содержание элементов минерального питания во 2-ой период вегетации не выявлено.

4.2. Сортовые особенности накопления ТМ в плодах земляники при использовании различных агроприёмов

Конечной целью наших исследований является оценка возможностей получения экологически безопасной продукции земляники в условиях техногенного загрязнения. Результаты исследований, приведённые в Главе 3, показывают наличие у растений земляники разных сортов физиологических механизмов защищающих плоды от накопления ТМ. Как это принято в агрохимических и агроэкологических исследованиях, данные о содержании ТМ в органах растений в таблицах 10 - 14 были представлены в расчёте на сухое вещество, что позволило правильно оценить соотношение концентраций, рассчитывать транслокационные коэффициенты, выявлять барьерную роль отдельных органов. Использование этого способа расчёта концентраций позволяет сопоставить наши результаты с данными других исследователей по накоплению ТМ различными видами растений в условиях техногенного загрязнения.

Земляника, как и другие плодовые и ягодные культуры, употребляется, прежде всего, в свежем виде. Поэтому максимально допустимые уровни содержания элементов в плодах (МДУ) установлены в расчёте на сырую массу. Соответственно в настоящей главе, посвящённой оценке эффективности способов получения экологически безопасной продукции, концентрации ТМ в плодах земляники также приводятся в расчёте на сырую массу.

Изучаемые сорта земляники существенно различаются по содержанию в плодах сухого вещества. В среднем за 2 года плоды сорта Рубиновый кулон содержали 6,78% сухого вещества, сорта Мамочка – 8,35%, Былинная – 11,55%, Богема – 10,60%. При пересчёте данных о содержании ТМ на сырое вещество характеристика сортов несколько отличается от данных Главы 3. Можно отметить, что, несмотря на существенные различия между сортами по содержанию ТМ в сухом веществе плодов (рисунки 4 и 6), при употреблении одинакового количества свежих плодов любого изучаемого

сорта человек получит практически одинаковое количество биогенных элементов – Zn и Cu (таблица 18). По причине меньшего содержания в плодах воды, сорт Богема в условиях нашего опыта отличался самой высокой концентрацией Pb в сырой массе. Также плоды этого сорта имели достоверно наибольшее среди изучаемых сортов содержание Ni, как в сыром веществе, так и в сухом (таблица 18, рисунок 3).

Таблица 18 - Содержание ТМ в плодах земляники (2007-2008 гг), мг/кг сырой массы

Сорт	Содержание, мг/кг сырой массы					СПН	Pb + Ni, %
	Pb	Ni	Zn	Fe	Cu		
Рубиновый кулон	0,053	0,011	0,329	0,546	0,063	1,002	6
Мамочка	0,032	0,009	0,466	0,531	0,062	1,100	4
Былинная	0,012	0,015	0,379	0,739	0,060	1,205	2
Богема	0,072	0,047	0,300	0,268	0,062	0,749	16
НСР _{0,05}	0,010	0,010	0,360	0,280	0,020		
МДУ	0,400	0,500	10,00	50,00	5,000		
Средние фоновые (Скурихин, Волгарев 1987)	-	-	0,097	1,2	0,125		

Максимально допустимые уровни содержания ТМ в плодах (МДУ) являются важным, но не единственным критерием оценки экологической безопасности плодовой и ягодной продукции. Известно, что даже незначительное количество ТМ, содержащихся в продукции, выращенной на слабозагрязненных почвах, способно вызвать кумулятивный эффект, обуславливая постепенное увеличение содержания ТМ в организме человека (Авцын, 1991). Именно этим объясняются гораздо более строгие требования к химическому составу сырья для производства детского и диетического питания, в частности, не допускающие наличия токсичных микроэлементов.

В нашем опыте плоды земляники всех изучаемых сортов содержали Pb, Ni, Zn, Fe и Cu в количествах, не превышающих принятый в настоящее время максимально допустимый уровень (МДУ), единый для всех плодов и ягод (Беспамятнов, 1985). Однако, если сопоставить наши результаты со средним фоновым уровнем содержания микроэлементов в плодах земляники (таблица 18, рисунок 8), можно отметить следующее:

- в составе плодов присутствуют токсичные элементы - Ni и Pb;
- содержание Zn в 3...4 раза больше фонового уровня, что вполне согласуется с 5-кратным превышением фонового содержания Zn в почве и нашими данными о слабой фиксации элемента в вегетативных органах;
- количество Fe и Cu в 2...4 раза меньше среднего фонового уровня.

Возможно, уменьшение содержания Fe и Cu объясняется конкуренцией с катионами других тяжёлых металлов в процессах поступления в растение из окружающей среды и дальнейшего транспорта в растении.

Для более полной оценки микроэлементного состава плодов, для каждого сорта был рассчитан суммарный показатель накопления ТМ (СПН) и определены относительные доли биогенных и токсичных элементов (таблица 18, рисунок 8). Наименьший среди изученных сортов СПН имел сорт Богема, однако суммарная доля токсичных элементов Pb и Ni достигала у этого сорта 16%. Высокое значение СПН у сорта Былинная достигалось за счёт преимущественного накопления биогенных элементов: Zn, Cu и, особенно, Fe, а доля Pb и Ni от суммы ТМ составила всего 2 %. Таким образом, при выращивании земляники без дополнительных агроприёмов, снижающих поступление ТМ в растение, только благодаря выбору сорта можно было уменьшить содержание Pb в плодах земляники в 6 раз, а Ni – в 3 раза.

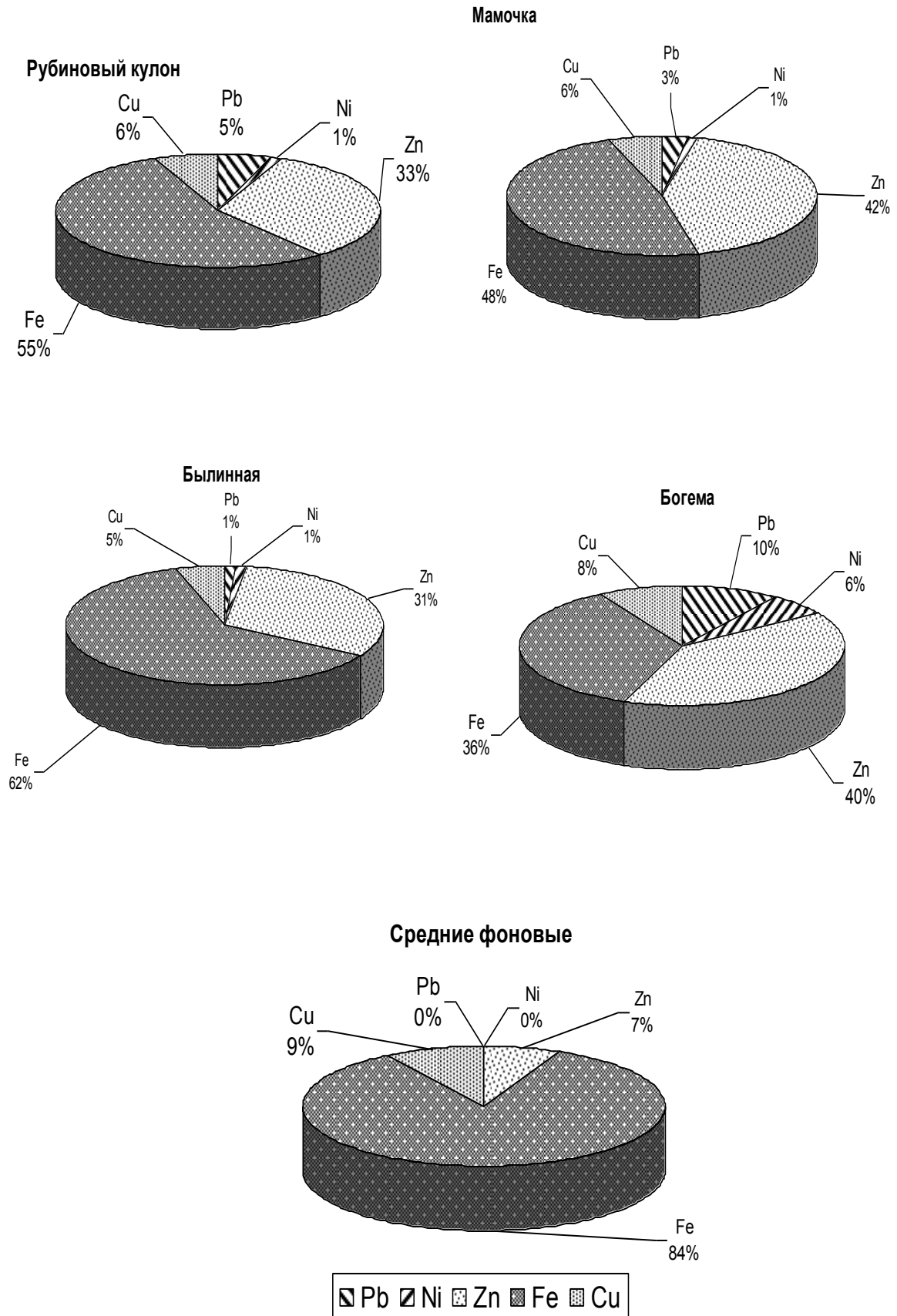


Рисунок 8 - Соотношение микроэлементов в плодах земляники разных сортов

По урожайности и потребительским качествам плодов сорта, накапливающие большие количества токсичных ТМ в плодах, могут быть более привлекательными для выращивания. Например, сорт Былинная, слабее других сортов накапливающий токсичные элементы, имел в нашем опыте урожайность на 20...37% ниже, чем у других сортов, а также более низкую массу плодов (9,75 г по сравнению с 18,66 г у сорта Богема).

Поэтому нами были рассмотрены возможности улучшения микроэлементного состава плодов с использованием агротехнических приёмов, уменьшающих доступность растениям ТМ, содержащихся в почве. Эффективность применения агроприёмов для оптимизации микроэлементного состава плодов земляники также оценивали с использованием суммарного показателя накопления ТМ (СПН), дополнительно выделяя суммарное накопление токсичных (свинца и никеля) и биогенных элементов (цинка, меди и железа).

Исследуемые сорта проявили неодинаковую отзывчивость на использованные в опыте агроприёмы.

У сорта **Рубиновый кулон**, отличавшегося в наших опытах повышенным накоплением Рb в плодах (таблицы 18 и 19), все использованные в опыте агроприёмы достоверно уменьшали содержание в плодах этого элемента – на 50% и более (таблица 19). Наилучший результат – 10-кратное снижение содержания Рb - наблюдался в варианте с внесением 15 т/га цеолитсодержащей породы на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$. При внесении 15 т/га и 25 т/га ЦСП без минеральных удобрений содержание Рb было соответственно в 8,8 и 5,9 раз ниже, чем на контроле.

Повлиять на накопление Ni в плодах Рубинового кулона при помощи цеолитизации, внесения минеральных удобрений либо известкования в нашем опыте не удалось, хотя, как показано выше (таблица 17), внесение 25т/га ЦСП снижало содержание подвижного никеля в почве. Причиной этого может быть наблюдавшееся нами в опыте слабое поступление Ni из окружающей среды в растения этого сорта.

Среди изучаемых нами сортов Рубиновый кулон отличался наибольшей интенсивностью поступления Zn в плоды и листья (таблица 15). Нам не удалось уменьшить накопление Zn в его плодах при помощи агротехнических приёмов (таблица 19).

Накопление в плодах Рубинового кулона Fe и Cu снижалось при внесении ЦСП в дозах 15 и 25 т/га на неудобренном фоне. При этом увеличение дозы ЦСП в 1,5 раза не приводило к пропорциональному снижению концентрации Fe и Cu в плодах.

Внесение $N_{90}P_{90}K_{90}$ также уменьшало содержание Cu и Fe в плодах Рубинового кулона. В то же время при сочетании минеральных удобрений с 15 т/га ЦСП содержание Fe и Cu достоверно не отличалось от контроля, а при сочетании с 25 т/га ЦСП было на уровне варианта с внесением одних минеральных удобрений.

Известкование в дозе 2 т/га достоверно уменьшало содержание Pb и Cu в плодах Рубинового кулона, но не оказывало влияния на накопление других элементов.

Поскольку минимальное накопление Pb, Ni и Cu в плодах Рубинового кулона было при внесении ЦСП, как на неудобренном фоне, так и при внесении минеральных удобрений, цеолитизацию можно считать эффективным агроприёмом, способствующим снижению накопления ТМ в продукции этого сорта.

В отличие от сорта Рубиновый кулон, использование ЦСП Хотынецкого месторождения не оказывало существенного влияния на содержание ТМ в плодах сорта **Мамочка**. У этого сорта мы наблюдали положительное действие известкования: достоверно уменьшилось накопление в плодах Pb (на 34%) и Cu (на 42%). Также достоверное уменьшение содержания Cu (на 35%) отмечено при внесении $N_{90}P_{90}K_{90}$ (таблица 19).

Таблица 19 - Влияние агроприёмов на накопление ТМ плодами земляники
(2007 – 2008 гг.), мг/кг сырой массы

Сорт	Вариант	Содержание в плодах, мг/кг сырой массы					СПН		
		Pb	Ni	Zn	Fe	Cu	общий	Pb+Ni	Zn+Cu +Fe
Рубиновый кулон	Контроль	0,053	0,011	0,329	0,546	0,063	1,002	0,064	0,938
	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,020*	0,008	0,208	0,226*	0,041*	0,503	0,028	0,475
	ЦСП 15 т/га	0,006*	0,016	0,120	0,100*	0,039*	0,281	0,022	0,259
	ЦСП 25 т/га	0,009*	0,008	0,165	0,158*	0,033*	0,373	0,017	0,356
	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + ЦСП 15 т/га	0,005*	0,009	0,237	0,441	0,047	0,739	0,014	0,725
	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + ЦСП 25 т/га	0,012*	0,003	0,086	0,209*	0,035*	0,345	0,015	0,330
	Известь, 2 т/га	0,023*	0,009	0,092	0,432	0,041*	0,597	0,032	0,565
Мамочка	Контроль	0,032	0,009	0,466	0,531	0,062	1,1	0,041	1,059
	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,022	0,008	0,183	0,484	0,040*	0,737	0,030	0,707
	ЦСП 15 т/га	0,028	0,009	0,377	0,504	0,050	0,968	0,037	0,931
	ЦСП 25 т/га	0,024	0,008	0,300	0,351	0,044	0,727	0,032	0,695
	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + ЦСП 15 т/га	0,023	0,017	0,351	0,349	0,064	1,38	0,040	1,34
	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + ЦСП 25 т/га	0,033	0,007	0,285	0,446	0,054	0,825	0,040	0,785
	Известь, 2 т/га	0,021*	0,003	0,293	0,298	0,036*	0,651	0,024	0,627
	НСР _{0,05}	0,010	0,010	0,360	0,280	0,020			

Таблица 19 - Продолжение

Сорт	Вариант	Содержание в плодах, мг/кг сырого вещества					СПН		
		Pb	Ni	Zn	Fe	Cu	общий	Pb+Ni	Zn+Cu +Fe
Былинная	Контроль	0,012	0,015	0,379	0,739	0,060	1,205	0,027	1,178
	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,018	0,013	0,186	0,164*	0,048	0,429	0,031	0,398
	ЦСП 15 т/га	0,018	0,007	0,045	0,363*	0,043	0,476	0,025	0,451
	ЦСП 25 т/га	0,004	0,010	0,353	0,346*	0,052	0,765	0,014	0,751
	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + ЦСП 15 т/га	0,016	0,018	0,797*	0,802	0,040	1,673	0,034	1,639
	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + ЦСП 25 т/га	0,005	0,006	0,213	0,342*	0,056	0,622	0,011	0,611
	Известь, 2 т/га	0,022	0,012	0,35	0,525	0,047	0,956	0,034	0,922
Богема	Контроль	0,072	0,047	0,300	0,268	0,062	0,749	0,119	0,63
	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,086	0,036*	0,234	0,261	0,040*	0,657	0,122	0,535
	ЦСП 15 т/га	0,008*	0,009*	0,286	0,170	0,055	0,528	0,017	0,511
	ЦСП 25 т/га	0,015*	0,006*	0,299	0,38	0,060	0,760	0,021	0,739
	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + ЦСП 15 т/га	0,022*	0,005*	0,136	0,169	0,045	0,377	0,027	0,350
	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + ЦСП 25 т/га	0,017*	0,024*	0,198	0,385	0,054	0,678	0,041	0,637
	Известь, 2 т/га	0,011*	0,014*	0,408	0,209	0,056	0,698	0,025	0,673
	НСР _{0,05}	0,010	0,010	0,360	0,280	0,020			

У сорта **Былинная** внесение ЦСП и минеральных удобрений оказывало достоверное влияние только на содержание в плодах Fe. Исключением был вариант с внесением 15 т/га ЦСП на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$, где мы наблюдали двукратное по сравнению с контролем увеличение содержания Zn (таблица 19).

Сорт **Богема**, накапливавший в контрольном варианте наибольшие количества Pb и Ni, проявил значительную отзывчивость на агроприёмы, уменьшающие поступление ТМ в растения. Достоверное уменьшение содержания Pb и Ni в плодах этого сорта мы наблюдали при внесении ЦСП без удобрений и в сочетании с $N_{90}P_{90}K_{90}$, а также при известковании. Наименьшая величина суммарного накопления токсичных элементов была в варианте с внесением 15 т/га ЦСП (таблица 19).

При этом большинство использованных в опыте агроприёмов существенно не влияло на содержание в плодах Богемы биогенных элементов Zn, Fe и Cu. Исключением был вариант с внесением $N_{90}P_{90}K_{90}$, где наблюдалось достоверно более низкое содержание Cu.

На основе оценки суммарного показателя накопления ТМ, для снижения экологического риска загрязнения плодов изучаемых сортов земляники при сходных уровне загрязнения, составе загрязнителей и агрофоне можно предложить использование следующих агроприёмов:

- для сортов Рубиновый кулон и Богема – внесение ЦСП Хотынецкого месторождения в дозах 15...25 т/га;
- для сорта Мамочка – известкование в дозе 2 т/га.

Сорт Былинная проявил слабую отзывчивость к химическим методам, уменьшающим доступность ТМ растениям, но, в тоже время характеризовался малым суммарным накоплением токсичных элементов. Этот сорт может рассматриваться как перспективный для использования в «органических» системах садоводства.

4.3. Оценка экономической эффективности агроприёмов, используемых для получения экологически безопасной продукции земляники

Агрохимические показатели почвы нашего опытного участка были благоприятными для выращивания земляники. В ходе проведения исследований в вариантах опыта мы наблюдали лишь незначительные изменения показателей плодородия (глава 4.1., в приложение 2).

Вследствие незначительных различий в уровне плодородия почвы, различия в урожайности сортов по вариантам опыта были недостоверными (в приложение 4). Достоверно более высокий урожай всех изучаемых сортов в 2008 г по сравнению с 2007, вероятно связан с более благоприятными погодными условиями периода вегетации.

Сорта Рубиновый кулон и Богема в условиях опыта отличались более высокой урожайностью – свыше 100 ц/га во всех вариантах. У сорта Мамочка урожайность ниже 100 ц/га была в вариантах с внесением 25 т/га ЦСП на удобренном и неудобренном фоне. Почти во всех вариантах опыта наименьшая среди изучаемых сортов продуктивность была у Былинной. Она варьировала в пределах от 105 ц/га при внесении 15 т/га ЦСП до 54,6 ц/га при внесении 25 т/га ЦСП в сочетании с $N_{90}P_{90}K_{90}$.

Урожайность сортов, наблюдаемая в нашем опыте, несмотря на благоприятный агрофон, была существенно ниже, чем известная по литературным данным (таблица 7). Возможно, это в какой-то мере связано с негативным влиянием техногенной нагрузки.

Рентабельность выращивания земляники сортов Рубиновый кулон и Богема во всех вариантах опыта превышала 100 %. Показатели экономической эффективности для сортов Мамочка и Былинная были несколько хуже, особенно в вариантах, где были внесены высокие дозы ЦСП – 25 т/га (таблица 20).

Таблица 20 – Оценка экономической эффективности применения агроприёмов для получения экологической безопасной продукции земляники садовой

Сорт/ вариант	Средняя урожай- ность за 2 года, т/га	Стоимость урожа с 1 га, руб.	Производ - ственные затраты с 1 га, руб.	Чистый доход, руб.	Рентабельность, %
КОНТРОЛЬ					
Рубиновый кулон	13,3	102700,0	43480	59220,0	136,2
Мамочка	12,0	102700,0	47250	55450,0	117,4
Былинная	9,7	102700,0	54440	48260,0	88,6
Богема	12,9	102700,0	44300	58400,0	131,8
НРК					
Рубиновый кулон	11,7	102700,0	49400	53300,0	107,9
Мамочка	12,3	102700,0	47100	55600,0	118,0
Былинная	10,2	102700,0	53600	49100,0	91,6
Богема	13,3	102700,0	45200	57500,0	127,2
ЦСП 15т/га					
Рубиновый кулон	14,8	102700,0	40900	61800,0	151,1
Мамочка	12,5	102700,0	46890	55810,0	119,0
Былинная	10,5	102700,0	50800	51900,0	102,2
Богема	15,0	102700,0	40300	62400,0	154,8
ЦСП 25т/га					
Рубиновый кулон	14,1	102700,0	42950	59750,0	139,1
Мамочка	8,4	102700,0	61200	41500,0	67,8
Былинная	9,6	102700,0	58000	44700,0	77,1
Богема	13,1	102700,0	45700	57000,0	124,7
НРК+ЦСП 15т/га					
Рубиновый кулон	12,9	102700,0	46680	56020,0	120,0
Мамочка	12,8	102700,0	46360	56340,0	121,5
Былинная	10,4	102700,0	52000	50700,0	97,5
Богема	12,9	102700,0	46880	55820,0	119,1
НРК+ЦСП 25т/га					
Рубиновый кулон	10,9	102700,0	49200	53500,0	108,7
Мамочка	6,0	102700,0	92700	10000,0	10,8
Былинная	5,5	102700,0	101600	1100,0	1,1
Богема	12,6	102700,0	43100	59600,0	138,3
Известь 2 т/га					
Рубиновый кулон	11,0	102700,0	48070	54630,0	113,6
Мамочка	11,3	102700,0	49890	52810,0	105,9
Былинная	11,5	102700,0	47200	55500,0	117,6
Богема	10,3	102700,0	50620	52080,0	102,9

Затраты на проведение предлагаемых нами агроприёмов, способствующих получению экологически безопасной продукции земляники, не снизили экономическую эффективность выращивания сортов Рубиновый кулон и Богема. На контрольном варианте уровень рентабельности для них составил 136,2% и 131,9% соответственно. При внесении рекомендуемой дозы ЦСП – 15 т/га, рентабельность получения продукции Рубинового кулона составила 151,1%, Богемы – 154,8%.

У сорта Мамочка уровень рентабельности на контроле был 117,4 %, а при внесении рекомендуемых 2 т/га извести - 105 %.

Как уже было показано, накопление ТМ в плодах сорта Былинная не различалось по вариантам опыта. При этом самый высокий уровень рентабельности для сорта Былинной – 117,6 % - был в варианте с известкованием.

Таким образом, мероприятия, предложенные нами для снижения риска поступления ТМ в плоды земляники изучаемых сортов, не удорожают существенно получение продукции и могут рассматриваться как элементы сортовой агротехники, направленные на повышение качества плодов.

Выводы

1. Микроэлементный состав растений земляники садовой выращиваемой в условиях техногенного загрязнения формируется под действием комплекса факторов, важнейшими из которых являются: количество доступных форм элементов, поступающих из окружающей среды, физиологическая значимость и химические свойства элементов, сорт, агротехника.
2. Оценка состояния ТМ в системе «почва – растения земляники», с использованием комплексных экологической показателей – коэффициента биологического поглощения (КБП) и коэффициента усвоения (КУ) показала, что при одновременном поступлении Pb и Ni из почвы и из атмосферы культура земляники в целом лучше защищена от накопления Ni, а риск Pb в плодах выше.
3. По особенностям накопления и распределения Pb в органах изучаемые сорта земляники существенно различались. У сортов Мамочка и Былинная максимальная концентрация свинца наблюдалась в листьях (1,01 и 1,25 мг/кг сух. в-ва соответственно), а содержание элемента в других органах было в 2...9 раз меньше. Сорта Рубиновый кулон и Богема характеризовались более равномерным распределением Pb по органам, причём только у Богемы наблюдалось постепенное снижение концентрации Pb в ряду «корни-корневища-листья-плоды». В среднем для четырёх изучаемых сортов, наименьшее содержание Pb было в корневищах и плодах земляники (0,24 и 0,26 мг/кг сухого в-ва соответственно).
4. При валовом содержании Ni в почве на уровне ОДК наблюдалось слабое поступление его из окружающей среды в растения земляники. Самое низкое поступление элемента отмечено у сорта Рубиновый кулон – коэффициент усвоения (КУ) Ni составил 2,11 и был в 1,5...2 раза ниже, чем у других сортов. У сортов Рубиновый кулон, Былинная и Богема не выявлено существенных внутренних барьеров, препятствующих транслокации Ni в плоды. Плоды этих сортов содержали Ni достоверно больше, чем вегетативные органы (0,12...0,21 мг/кг сух.в.). Заметная фиксация Ni в корнях отмечена только у сорта Мамочка (0,25 мг/кг сух.в.),

- в результате содержание Ni в плодах этого сорта было наименьшим (0,11 мг/кг сух.в.).
5. Для всех изученных сортов земляники характерна интенсивная транслокация Zn в плоды. Плоды содержали Zn в 4...20 раз больше, чем листья, корневища и корни. У сорта Богема, накапливающего элемент в корнях, и сорта Былинная, накапливающего Zn в корневищах, плоды содержали достоверно меньше Zn, чем у сортов, не фиксировавших элемент в вегетативных органах.
 6. Характер распределения Cu по органам земляники сходен с распределением Pb: высокое содержание элемента отмечено в корнях (1,63...2,38 мг/кг сух. в.) и черешках листьев (1,06...2,15 мг/кг сух. в.), минимальное – в плодах (0,39...0,92 мг/кг сух. в.). В отличие от Pb, листья всех изученных сортов земляники содержали Cu существенно меньше, чем корни. Сортные различия в накоплении Cu вегетативными органами и плодами земляники были менее выражены, чем для других элементов.
 7. При содержании Fe в почве на фоновом уровне имели место значительные достоверные различия в накоплении Fe в органах растений земляники разных сортов, свидетельствующие, что поступление элемента определялось преимущественно потребностями самих растений. У всех изученных сортов наблюдали высокое содержание Fe в плодах (1,55...4,4,92 мг/кг сух. в.) и низкое в листьях (0,17...1,36 мг/кг сух. в.).
 8. В условиях техногенного загрязнения изучаемые сорта существенно различались по накоплению в плодах Pb и Ni. Суммарная доля этих элементов в плодах сорта Богема составила 16 % и была в 2,6...8 раз больше, чем у сортов Рубиновый кулон, Мамочка и Былинная. При выращивании земляники без дополнительных агроприёмов, снижающих поступление ТМ в растение, только благодаря выбору сорта можно уменьшить содержание Pb в плодах земляники в 6 раз, а Ni – в 3 раза.
 9. Изученные сорта земляники проявили неодинаковую отзывчивость на агроприёмы, снижающие доступность тяжёлых металлов растениям. В плодах сорта Рубиновый кулон содержание Pb, Fe и Cu снижалось при

внесении ЦСП Хотынецкого месторождения в дозах 15 и 25 т/га на 45...90 % в зависимости от элемента. Достоверное уменьшение содержания Pb и Ni (до 90 %) в плодах сорта Богема было как при внесении ЦСП (без удобрений и в сочетании с N₉₀P₉₀K₉₀), так и при известковании. При этом большинство использованных в опыте агроприёмов существенно не влияло на содержание в плодах Богемы биогенных элементов Zn, Fe и Cu. У сорта Мамочка достоверно уменьшалось накопление в плодах Pb (на 34 %) и Cu (на 42 %) при внесении 2 т/га извести. У сорта Былинная внесение ЦСП и минеральных удобрений оказывало достоверное влияние только на содержание в плодах Fe.

10. Мероприятия, предлагаемые для снижения риска поступления ТМ в плоды земляники изучаемых сортов, не удорожают получение продукции и могут рассматриваться как элементы сортовой агротехники, направленные на повышение качества плодов. При внесении рекомендуемой дозы ЦСП – 15 т/га, рентабельность получения продукции Рубинового кулона составила 151,1 %, Богемы – 154,8 %. Рентабельность производства плодов сорта Мамочка при внесении извести в дозе 2 т/га составила 105 %.

Рекомендации производству

Для снижения экологического риска загрязнения плодов земляники, выращиваемой в условиях техногенного загрязнения светло-серой лесной хорошо окультуренной почвы Pb, Ni, Zn и Cu предлагается однократно при проведении предпосадочной подготовки почвы вносить следующие мелиоранты:

- цеолитсодержащую породу Хотынецкого месторождения в дозе 15 т/га для сортов Рубиновый кулон и Богема;
- известь в дозе 2 т/га – для сорта Мамочка.

Литература

1. Абызов, В.В. Изучение устойчивости сортов земляники к воздействию солей тяжёлых металлов /В.В. Абызов/ Проблемы агроэкологии и адаптивность сортов в современном садоводстве России: материалы Всеросс. науч.- метод.конф. (1-4 июля 2008 г., Орёл) – Орёл ВНИИСПК, 2008. – С. 7-12.
2. Авцын, А.П. Микроэлементозы человека / А.П.Авцын.// - М.: Медицина. 1991. - 310 с.
3. Алексеев, Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. / Ю.В. Алексеев// - Л.: Агропромиздат, 1987. – 137 с.
4. Бакланов, И.А. Накопление, распределение и действие никеля на растения-гипераккумуляторы и исключения из рода *Alyssum* 03.01.05. – «Физиология и биохимия растений». Автореф. . дис. на соиск. учён. степен. к-та.биол. наук. /Илья Андреевич Бакланов.- Москва, 2011. - С. 11-18.
5. Барсукова, В.С. Физиолого-генетические аспекты устойчивости растений к тяжёлым металлам. / В.С. Барсукова/ Аналитический обзор. Новосибирск, 1997. - 63 с.
6. Башкин, В.Н. Биогеохимия. /В.Н. Башкин, Н.С. Касимов // М.: Научный мир, 2004. - 648 с.
7. Белоусов, В.С. Цеолитсодержащие породы Краснодарского края в качестве инактиваторов тяжелых металлов в почве / В.С Белоусов. - Агрохимия. - 2006. - № 4. - С. 78-83.
8. Беспмятнов, Г.П. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде / Г.П. Беспмятнов, Ю.А. Кротов. – Л.: Химия, 1985. – 309 с.
9. Битюцкий, Н.П. Необходимые микроэлементы растений/ Н.П. Битюцкий/ – СПб: ДЕАН, 2005. С. 256.

10. Большакова, В..А. Нормирование загрязняющих веществ в почве. / В.А. Большакова, Т.И. Борисочкина, Н.М. Краснова // Химизация сельского хозяйства. - 1991. - №9. - С. 10-14.
11. Вагун, И.В. Особенности накопления тяжелых металлов яровым рапсом при различных уровнях загрязнения дерново-подзолистой почвы / И.В. Вагун, И.В. Андреева, Е.И. Кошкин // Материалы Международной научной конференции молодых ученых и специалистов. – М.: РГАУ-МСХА, 2009. - С. 205-209.
12. Важенин, И.Г. Почва как активная система самоочищения от токсического воздействия тяжёлых металлов – ингредиентов техногенных выбросов / И.Г. Важенин.//Химия в сельском хозяйстве, 1982. - №3. С. 3-5.
13. Виноградов, А.П. Основные закономерности в распределении микроэлементов между растениями и окружающей средой / А. П. Виноградов // Микроэлементы в жизни растений и животных. М.: Наука, 1985. - С. 7-20.
14. Войтюк, Е.А. Аккумуляция тяжелых металлов в почве и растениях в условиях городской среды (на примере г. Чита) 03.02.08 – «Экология»: автореф. дис. на соиск. учён. степен. к-та биол.наук / Войтюк Екатерина Александровна. - Улан-Удэ, 2011. - 24 с.
15. Говорова, Г.Ф. Земляника и клубника. – / Г.Ф. Говорова, Д.Н. Говоров // М.: Изд-во ЭКСМО-Пресс, 2001. – С. 192 – 198.
16. Говорова, Г.Ф. Земляника: прошлое, настоящее, будущее. / Г.Ф. Говорова, Д.Н. Говоров// М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2004. – С. 348 – 351.
17. Горешникова, Е.В. Влияние свойств дерново-подзолистой почвы и известкования на поступление кадмия, цинка и свинца в растения. 06.01.04.- «Агрохимия»: дис. на соиск. учён. степен. к-та биол.наук / Горешникова Елена Вячеславна. – Москва, 1995.- С. 6-9.

18. Громова, В.С. Влияние длительного применения минеральных удобрений на агроэкологические характеристики почвы и плодов яблоневого сада. /В.С.Громова //Плодоводство и ягодоводство России. М. ВСТИСП, 1995. - С.153-157.
19. Джувеликян, Х.А. Экологическое состояние природных и антропогенных ландшафтов Центрального черноземья. Автореферат на соиск. Учён. Степ. д. биол. наук /Джувеликян Хачик Акопович. – Петрозаводск, 2007. – С.50 -52.
20. Добровольский, В.В. Глобальная биохимия свинца./ В.В. Добровольский // Свинец в окружающей среде. М.: Наука, 1987. - С.7-19.
21. Добровольский, В.В. Основные черты геохимии цинка и кадмия./ В.В. Добровольский// Цинк и кадмий в окружающей среде. М.: Наука, 1992. – С.7-18.
22. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)/ Б.А.Доспехов // - М.: Агротехиздат. 1985.- 351с.
23. Зейналов, А.С. Влияние микроэлементов: бора, марганца и цинка на фитосанитарное состояние смородины черной и накопление тяжелых металлов в ее плодах и листьях / А.С. Зейналов, Т.В. Сенновская // Плодоводство и ягодоводство России. – М., 2006. - Т. XVII. – С. 361-379.
24. Злобина, М.В. Изучение ремедиационного потенциала сельскохозяйственных, дикорастущих и декоративных растений. Специальность 03.02.13 – Почвоведение. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата биологических наук./ Злобина Мария Владимировна.- Москва- 2010.
25. Зонн, С.В. Железо в почвах / С.В. Зонн /Москва, 1982. - С.207 – 209.
26. Зырин, Н. Г. Система полевых и лабораторных исследований при контроле загрязнения почв тяжелыми металлами / Н.Г. Зырин, В.С. Горбатов, А.И. Обухов, Л.К. Садовникова, Н.В. Стасюк, К.Н. Федоров,

- С.Г. Малахов, Э.П. Маханько, Е.Ф. Ковнацкий // Тяжелые металлы в окружающей среде. – Изд-во МГУ, 1980. – С. 13-20.
27. Зырин, Н.Г. Задачи и перспективы развития учения о микроэлементах в почвоведении / Н.Г. Зырин // Биологическая роль микроэлементов. - М.: Наука, 1983. - С. 149-154.
28. Иванов, В.Ф. Экология плодовых культур /В.Ф Иванов, А.С Иванова, Н.Е. Опанасенко, Н.П. Литвинов, В.И. Важов. - Киев «Аграрна наука», 1998. - 406 с.
29. Изерская, Л. А. Агроэкологический контроль почв садово-огородных участков как элемент мониторинга земель./ Л.А. Изерская, Л.К. Цыцарева., С.Н. Воробьёв, Т.Е. Воробьёва// Агрохимия. 1996. - № 6. – С. 87-88.
30. Ильин, В.Б. Защитные возможности системы почва-растение при загрязнении почвы тяжелыми металлами. / В.Б., Ильин, М.Д. Степанова // Тяжелые металлы в окружающей среде. - М.: Изд-во МГУ, - 1981. - С. 80-82.
31. Ильин, В.Б., Степанова М.Д. Относительные показатели загрязнения в системе почва-растение.// Почвоведение, 1979. - №11. - С.61-67.
32. Ильин, В.Б. Влияние тяжёлых металлов на рост, развитие и урожайность сельскохозяйственных культур / В.Б. Ильин, Г.А. Гармаш, Н.Ю. Гармаш // Агрохимия. 1985. - № 6. - С. 90-98.
33. Ильин, В.Б. Тяжёлые металлы в системе почва – растение / В.Б. Ильин; отв. Ред. И.Л. Клебенская. Новосибирск: Наука, 1991. – С. 150 – 152.
34. Ильинский, А.В. Очистка и детоксикация оподзоленных и выщелоченных чернозёмов, загрязнённых тяжёлыми металлами; на примере Рязанской области. 03.00.16. – «Экология». Афтореферат дис. на соиск. учён. степен. к-та с-х. наук / Андрей Валерьевич Ильинский. – Москва, 2003. - С. 132 -134.

35. Инструктивное письмо «О выполнении работ по определению загрязнения почв» № 02-10/51-2333 от 10.12.1990. - М.: Госкоприрода СССР. - 11 с.
36. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях. - / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас // М.: Мир. 1989. – С. 18-31, 45-56, 59-65, 73-82, 84-107.
37. Казаков, И.В. Ягодные культуры в Центральном регионе России.- / И.В. Казаков, С.Д. Айтжанова, В.Л. Евдокименко, В.Л. Кулагина, Ф.Ф. Сазонов // Брянск: Издательство Брянской ГСХА, 2009. – С. 14 – 18.
38. Карпова, Е.А. Подвижные соединения тяжёлых металлов в пахотных горизонтах дерново-подзолистых почв в условиях длительного применения удобрений / Е.А. Карпова // Экологическая агрохимия. - М.: МГУ, 2008. - С.12 – 13.
39. Касатиков, В.А. Влияние термофильно сброженного осадка городских сточных вод на почву / В.А. Касатиков, В.П. Попов, В.Е. Руник // Химизация сел. хоз-ва. 1990. - № 2. - С. 51-52.
40. Кириллова, С.А. Фитотоксичность тяжелых металлов кадмия, свинца, меди на малине и эффективность применения природных цеолитов для ее снижения / С.А. Кириллова // Плодоводство и ягодоводство России: Изд-во ВСТИСП. – 1995. – С. 182-187.
41. Коваленко Е.М. Улучшенная технология возделывания земляники / Е.М.Коваленко //Плодоводство. - Т.14. – 2004. -С.55-56.
42. Ковда, В.А. О биологической реакции растений на тяжёлые металлы в среде. / В.А. Ковда, Б.И. Золотарёва, И.И. Скрипниченко // Докл. АН СССР. 1979. - Вып. 247. - № 3. - С. 766-768.
43. Козаренко, А.Е. Свинец в растениях. / А.Е. Козаренко // Свинец в окружающей среде. М.: Наука, 1987. - С. 71-72.
44. Козаренко, О.М. Поступление тяжёлых металлов на поверхность листьев растений в течение вегетационного периода в лиственных лесах

- Калужской области / О.М. Козаренко, А.Е. Козаренко // Тяжёлые металлы в окружающей среде. Пущино, 1996. - С. 85 - 87.
45. Кузнецов М.Н. Оценка количественных возможностей использования цеолитосодержащих пород для снижения поступления тяжёлых металлов в ягоды чёрной смородины. /М.Н. Кузнецов, Е.В. Леоничева, Т.А. Роева // Аграрный вестник Урала. – 2009. - № 5(59). – С. 92-94.
46. Кузнецов, М.Н. Проблемы загрязнения биосферы тяжёлыми металлами: монография / М.Н. Кузнецов. – Орёл: ВНИИССПК, 2011. – С. 51-55.
47. Кузнецов, М.Н. Растительные сообщества в условиях загрязнения территорий тяжёлыми металлами: монография / М.Н. Кузнецов. – Орёл: Оперативная полиграфия, 2008. – С.232 - 234.
48. Кузнецов, М.Н. Состояние естественных фитоценозов как индикатор загрязняющего действия шлакоотвалов / М.Н. Кузнецов // Современные проблемы рационального использования ресурсов в АПК: материалы всероссийской научно-практической конференции (7-9 июля, 2000 г., Орёл).- Орёл: ОрёлГАУ, 2000. –С.18-22.
49. Лебедева, Л.А. Влияние последствий разных систем удобрений на защитные физиологические функции растений на дерново-подзолистой почве, загрязнённой тяжёлыми металлами / Л.А. Лебедева, Ю.Б. Соловьёва / Москва: МГУ, 2008. - С. 66-67.
50. Леоничева, Е.В. Формирование состава микроэлементов у ягодных растений в условиях повышенного содержания тяжёлых металлов в почве /Е.В. Леоничева, С.М. Мотылёва, М.Н. Кузнецов, Т.А. Роева, Л.И. Леонтьева // Сельскохозяйственная биология, - 2010. - № 5. - С. 31-34.
51. Леонтьева, Л.И. Эффективность применения цеолита при выращивании малины и крыжовника: специальность 06.01.07 «Плодоводство и виноградарство»: дис. на соиск. учен. степ. канд. с.-х. наук / Леонтьева Лариса Ивановна. – Орел, 2008. - 8 с.

52. Лепнёва, О.М. Состояние свинца в системе почва – растение в зонах влияния автомагистралей / О.М. Лепнёва, А.И. Обухов// Свинец в окружающей среде. М.: Наука, 1987. - С. 149-165.
53. Линдиман, А. В. Процессы миграции свинца и кадмия в системе «почва-растение»: специальность 03.00.16 – «Экология»: дис. На соиск. Учён. степ. канд. хим. Наук// Линдиман Анастасия Васильевна. – Иваново, 2009. - 16 с.
54. Маджугина, Ю.Г. Исследование способности вейника наземного аккумулировать тяжелые металлы с целью разработки технологии фиторемедиации. 03.00.12. – «Физиология и биохимия растений». Автореферат дис. на соиск. учён.степен. к-та биол. наук /Маджугина Юлия Григорьевна. – Москва, 2008. - С. 7-12.
55. Маслов, С.П.Результаты изучения влияние некоторых агротехнических приёмов на урожай яблони / С.П. Маслов, Н.И.Халекова// В сб.: Селекция и сорторазведение садовых культур. – Орёл, 1995. – С. 310-324.
56. Методика указания по определению тяжёлых металлов (Pb, Ni, Zn, Fe и Cu) в пищевых продуктах, пищевом сырье и в вытяжках модельных сред из тароупаковочных материалов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии» МУК 4.1.053- 96 (разработчики: Мотылёва С.М., Соснина М. В., Браун Д.Д., Горячев Н.С., Беликов А. Б.).
57. Методические указания по определению тяжёлых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М.: Минсельхозпром РФ, - 1992. - 19 с.
58. Минеев, В.Г. Использование природных цеолитов для предотвращения загрязнения почвы и растений тяжелыми металлами / В.Г. Минеев, А.В. Кочетавкин, Ван Бо Нгуен // Агрохимия. - 1989. - № 8. - С. 89-95.
59. Минеев, В.Т. Тяжёлые металлы и окружающая среда в условиях современной интенсивной химизации. Сообщение 1. Кадмий / В.Т. Минеев, А.И. Макарова, Т.А. Гришина //Агрохимия. 1981. - .№5. - С.146-155.

60. Минкина, Т.М. Накопление тяжёлых металлов в системе почва-растение в условиях загрязнения / Т.М. Минкина, М.В. Бурачевская, В.А. Чаплыгин, С. Ю. Бакоев, С. Е. М. Антоненко, С. С. Белогорская // Науч. жур. Рос. НИИ проблем мелиорации. – 2011. - № 4. – С. 46-48.
61. Минкина, Т.М. Соединения тяжёлых металлов в почвах Нижнего Дона и их трансформация под влиянием природных и антропогенных факторов. Автореферат на соиск. учён. степ. д. биол. наук / Минкина Татьяна Михайловна. – Ростов-на-Дону, 2008. – 54 с.
62. Мотылева, С.М. Методические рекомендации по определению Pb и Ni в органах плодовых растений / С.М. Мотылева, М.Н. Кузнецов - Орел – 2009.-Изд-во ГНУ ВНИИСПК. – 23 с.
63. Мотылева, С.М. Методические рекомендации по определению подвижных форм Cu методом жидкостной хроматографии. / С.М. Мотылева, М.Н. Кузнецов, Л.И. Леонтьева, М.Е. Мертвищева - Орел – 2009.-Изд-во ГНУ ВНИИСПК. – 21 с.
64. Мотылева, С.М. Накопление никеля некоторыми плодово-ягодными культурами / С.М. Мотылева, М.В. Соснина // Селекция и сорторазведение садовых культур. - Орел: Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, 1996. - С. 227 - 228.
65. Мотылева, С.М. Особенности содержания ТМ (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. дис. на соиск. учен. степ. канд. с.-х. наук / Мотылева Светлана Михайловна. – Орел, 2000. – 23 с.
66. Нестерова, А.Н. Действие тяжелых металлов на корни растений: 1. Поступление свинца, кадмия и цинка в корни, локализация металлов и механизмы устойчивости растений / А.Н. Нестерова // Биологические науки. - 1989. - №9. - С. 72-86.

67. Никифорова, Е.М. Биогеохимическая оценка загрязнения тяжёлыми металлами агроландшафтов восточного Подмосковья. / Е.М. Никифорова // Геохимическая экология и биогеохимическое изучение таксонов биосферы. М.: Наука. – 2003. - С. 108-109.
68. Обухов, А.И. Детоксикация дерново-подзолистых почв, загрязнённых тяжёлыми металлами: теоретические и практические аспекты/ А.И. Обухов, И.О. Плеханова // Агрохимия. – 1995. - №2. – С. 108-116.
69. Обухов, А.И. Свинец в почвообразующих породах и почвах./ А.И. Обухов, Е.А. Лобанова // Свинец в окружающей среде. М.: Наука, 1987. - С. 38-48.
70. Обухов, А.И. Цинк и кадмий в почвообразующих породах и почвах./ А.И. Обухов, И.О. Плеханова, С.К. Ли// Цинк и кадмий в окружающей среде. М.: Наука, 1992. - С. 19-39.
71. Обуховская, Т.Д. Zn, Cd, Hg, Pb в системе почва-растение./ Т.Д. Обуховская, Е.В. Каплунова, А.В. Сердюкова// Бюллетень почвенного института имени В.В.Докучаева. - 1983. - Вып.35. – 27 с.
72. Овцов, Л.П. Экологическая оценка осадков сточных вод и навозных стоков в агроценозе / Л.П. Овцов // М.:Изд-во МГУ, 2000. – С. 21- 24.
73. Овчаренко, М.М. Приемы детоксикации почв, загрязнённых тяжёлыми металлами /М.М. Овчаренко, И.А. Шильников, Н.А. Комарова //Агрохимический вестник. - 2005. - №3. - С. 2-4.
74. Овчаренко, М.М. Тяжёлые металлы в системе почва – почва растение-удобрение./ М.М. Овчаренко // Агрохимический вестник. – 1997. - №4. С. 8-10.
75. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжёлых металлов и мышьяка в почвах (Дополнение №1 к перечню ПДК и ОДК № 6229-91): Гигиенические нормативы. ГН 2.1.7.020-94 / М.: Изд. Госкомсанэпиднадзора России.- 1995. - 8с.

76. Парибок, Т.А. Загрязнение растений металлами и его эколого-физиологические последствия / Т.А. Парибок // Растения в экстремальных условиях минерального питания. Л.: Наука, 1983. - С. 82-99.
77. Парибок, Т.А. Накопление свинца в городских растениях / Т.А. Парибок, Г.Д. Леина, Н.А. Сазыкина, В.Н. Топорский., Т.И. Николаева., Т.Б. Дьякова // Ботан. журн. 1981. Т.66. - № 11.- С. 1646-1654.
78. Первунина, Р.И. Влияние известкования дерново-подзолистой почвы на поступление кадмия в растения и на динамику его форм в почве / Р.И. Первунина, Н.Г. Зырин, Г.С. Малахов // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Труды III Всесоюзного совещания. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 160 с.
79. Перельман, А.И. Геохимия /А.И. Перельман. – М.: Высш.шк., 1989.- 528 с.
80. Перечень предельно- допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно-допустимых количеств (ОДК) химических веществ в почве. Издание специальное / М.: Изд. Госкомсанэпиднадзора России. – 1991. - 18 с.
81. Плеханова, И.О. Трансформация соединений тяжелых металлов в почвах при увлажнении: специальность 03.00.27 «Почвоведение» : автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра биол. наук / Плеханова Ирина Овакивовна; [Москов. гос. ун-т]. – Москва, 2008. – 51 с. Библиогр.: с. 49-51.
82. Плеханова, И.О. Цинк и кадмий в почвах и растениях городской среды / И.О. Плеханова, А.И. Обухов // Цинк и кадмий в окружающей среде. М.: Наука, 1992. - С. 144-152.
83. Подгорная М. Е. Содержание препаратов группы меди в почве, воде, плодах яблоки / М. Е. Подгорная // Оптимизация фитосанитарного состояния садов в условиях погодных стрессов. Краснодар, 2005. - С. 367-377.

84. Покровская, С.Ф. Регулирование поведения свинца и кадмия в системе почва-растение./ С.Ф. Покровская / М.: Наука, 1995. - С. 51-52.
85. Понизовский, А.А. Использование цеолита для детоксикации загрязненных свинцом почв / Понизовский А.А., Д.Д. Димоянис, К.Д. Тсадилас // Почвоведение. – 2003.- № 4. – С. 487-492.
86. Попеско, И.Г. Изучение эффективности использования цеолитов для снижения фитотоксичности тяжелых металлов на землянике, черной смородине и вишне / И.Г. Попеско, И.С. Соловьев, Б.К. Цилу, В.И. Петрова // Использование природных цеолитов в народном хозяйстве. Ч.1. Новосибирск, 1991. – С. 188-198.
87. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур /под редакцией Е.Н. Седова и Т.П. Огольцовой. – Орел: Изд-во Всероссийского научно-исследовательского института селекции плодовых культур, 1999. – 608 с.
88. Программно-методические указания по проведению исследований с удобрениями в садах, ягодниках и плодовых питомниках. Киев – Умань - 1985. – 34 с.
89. Регионально-фоновое содержание химических веществ в почвах Орловской области. – Орёл: Государственный комитет по охране окружающей среды Орловской обл., 1999. – 26 с.
90. Роева, Т.А. Влияние извести и цеолита на содержание тяжёлых металлов в системе «почва-растение» при выращивании смородины чёрной / Т.А. Роева, М.Н. Кузнецов, Е.В. Леоничева, С.М. Мотылёва // Совершенствование сортимента и технологий возделывания плодовых и ягодных культур: материалы междунауч.-практ. конф. (Орёл, 27-30 июля 2010 г.). – Орёл: ВНИИСПК, 2010.- С.193 – 197.
91. Роева, Т.А. Использование мелиорантов для снижения поступления тяжелых металлов в ягоды черной смородины: специальность 06.01.07 «Плодоводство и виноградарство»: дис. на соиск. учён. степ. канд. с.-х. наук / Роева Татьяна Александровна. – Орел, 2008. – 12 с.

92. Савицкене, Н. Содержание тяжёлых металлов в лекарственных растениях из разных придорожных зон в Литве / Н. Савицкене., Я.А. Вайчюнене., А. А. Пясецкене., С.П. Риспелис., Х. Абрахманов., А.Б. Савицкас // Раст. Ресурсы. 1993. - Т. 29. - Вып. 4. - С. 23-30.
93. Саёт, Ю.Е. Геохимическая оценка техногенной нагрузки на окружающую среду/ Ю.Е. Саёт // Геохимия ландшафтов и география почв. М.: МГУ, 1982. - С. 37-48.
94. Саёт, Ю.Э. Геохимия окружающей среды / Ю.Э.Саёт, Б.А.Ревич, Е.П.Янин и др. – М.: Недра, - 1990. - 334 с.
95. Саптарова, Л.М. Тяжёлые металлы в системе вода-почва-растение в условиях орошения техногенно-загрязнённой водой. 03.02.08 – «Экология»: автореф. дис. На соиск. Учён. Степен. к-та биол.наук / Саптарова Лилияна Минкаировна. Уфа, 2011. - С. 18-21.
96. Сенновская Т.В. Особенности накопления тяжёлых металлов в ягодах и листьях крыжовника / Т.В. Сенновская, А.А. Сергиенко // Плодоводство и ягодоводство России: Сб. – М.: ВСТИСП, 2004. - С. 281-295.
97. Сенновская, Т.В. Накопление тяжёлых металлов в листьях и плодах вишни и черешни в связи с их биологическими особенностями и почвенно-климатическими условиями /Т.В.Сенновская, Н.Г.Морозова// Плодоводство и ягодоводство России: Сб. – М.: ВСТИСП, 2005. - С. 482-495.
98. Сенновская, Т.В. Особенности накопления тяжёлых металлов в плодах и листьях некоторых сортов смородины. / Т.В. Сенновская, А.Н.Зарубин, Е.К.Сашко // Плодоводство и ягодоводство России: Сб. – М.: ВСТИСП, 2003. - С. 366-367.
99. Серёгин, И.В. Передвижение ионов кадмия и свинца по тканям корня / И.В. Серёгин, В.Б. Иванов // Физиология растений. 1998. - Т. 45. - №6. - С. 899-905.

100. Серёгин, И.В. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения / И.В. Серёгин, В.Б. Иванов // Физиология растений. – 2001. – Т. 48. - № 4. – С. 606 -630.
101. Серёгин, И.В. Гистохимические методы изучения распределения кадмия и свинца в растениях / И.В. Серёгин, В.Б. Иванов// Физиология растений. 1997а. Т. 44. - №6. - С. 915-918.
102. Серёгин, И.В. Распределение тяжёлых металлов в растениях и их действие на рост. 03.00.12. – «Физиология и биохимия растений»: автореф. дис. На соиск. Учён. Степ. д.биол.наук./ Серёгин Илья Владимирович. – Москва, 2009. - С. 24-32.
103. Система производства, переработки и доведения до потребителя ягод в Нечернозёмной зоне России - М.: ВСТИСП, 2005.- С.172 -176.
104. Скрипниченко, И.И. Оценка токсического действия тяжёлых металлов (свинца) на растения овса / И.И. Скрипниченко, Б.Н. Золотарёва // Агрехимия. 1981. - № 1. - С. 103-108.
105. Снакин, В.В. Свинец в биосфере. / В.В. Снакин // Вестник РАН. 1998. Т. 68, № 3. С. 214-224.
106. Соловьев, И.С. Влияние загрязнения почвы кадмием и ее цеолитизации, известкования и торфования на смородине черной / И.С. Соловьев, В.Н. Переверзнецев // Плодоводство и ягодоводство России: Изд-во ВСТИСП. – 1995. – С. 168-176.
107. Соловьёва, Ю.Б. Влияние последствий разных систем удобрений на защитные физиологические функции растений на дерново-подзолистой почве, загрязнённой тяжёлыми металлами// Ю.Б. Соловьёва, Л. А. Лебедева// Экологическая агрохимия. – М.: МГУ, 2008. – С. 66-81.
108. Стазаева, Н.В. Агрэкологическое обоснование и совершенствование технологии возделывания смородины чёрной в лесостепи ЦЧР: специальность 06.01.07 «Плодоводство и виноградарство» : автореф. дис. на соиск. учён. степ. к.с.х. наук /Стазаева Наталья Викторовна. - Мичу–инск, 2009. – 22 с.

109. Степанова, Л.П. Влияние техногенеза на экологическое состояние серых лесных почв / Л. П. Степанова, Е.В. Яковлева, А.И. Яшин // Вестник РУДН, серия: Экология и безопасность жизнедеятельности, 2010. - №2. – С. 27-34.
110. Титов А.Ф. Устойчивость растений к тяжёлым металлам: монография./ А.Ф. Титов, В.В. Таланова, Н.М. Казнина, Г.Ф. Лайдинен //Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 200. - С. 172.
111. Трунов И. А. Эколого-токсикологическое состояние почв в полевых и садовых агроценозах Тамбовской области / И. А. Трунов, В.А. Дубовик, Н. П. Юрмашев, В. А. Захаров, С.И. Коновалов// Садоводство и виноградарство. 2008. - №1. - С. 9-12.
112. Тюрюканов, А.Н. Биосфера и человечество. /А.Н. Тюрюканов// – М.: Знание, 1973.- 64с.
113. Фёдорова, Е.В. Биоаккумуляция металлов растительностью в пределах малого аэротехногенно-загрязнённого водосбора / Е.В. Фёдорова, Г.Я. Одинцова// Экология. 2005.- № 3. - С. 26-28.
114. Химический состав пищевых продуктов / под ред. И.М. Скурихина, М.Н. Волгарева. – М.: «Агропромиздат», 1987. - 360 с.
115. Холод, Н.А. Защита земляники от вредных организмов /Н.А. Холод // Оптимизация фитосанитарного состояния садов в условиях погодных стрессов: ГНУ СКЗНИИСиВ Россельхозакадемии. Краснодар, 2005. - С. 299-300.
116. Цилу, Б.К. Эффективность использования природных цеолитов при возделывании земляники с целью повышения ее продуктивности и снижения уровня загрязнения тяжелыми металлами: специальность 06.01.07 «Плодоводство» : автореф. дис. на соиск. учен. степ. к.с.х. наук /Цилу Базиль Кристиан . – Москва, 1992. – 23 с. Библиогр.: с. 23-24.
117. Шевякова, Н.И. Распределение Cd и Fe в растениях *Mesembryanthemum crystallinum* при адаптации к Cd-стрессу / Н.И.

- Шевякова, И.А. Нетренина, Е.Е. Аронова, Вл.В. Кузнецов // Физиология растений. 2003. - Т. 50. - № 5. - С. 756-762.
118. Ягодин, Б.А. Кадмий в системе почва-удобрения-растения-животные организмы и человек./Б.А. Ягодин, С.Б. Виноградова, В.В. Говорина // Агрехимия. - 1989. - № 5. - С. 118-130.
119. Amrhein, C. Trace metal solubility in soil and water receiving deicing salts / C. Amrhein., P.A. Mosher., J.E. Strong., P.G. Pacheco // J. Environ. Qual. 1994. V. 23, N 2. P. 219-227.
120. Antosiewicz, D.M. Adaptation of plants to an environment polluted with heavy metals / D.M. Antosiewicz // Acta Soc. Bot. Pol. 1992. V. 61. P. 281-299.
121. Area Environmental Pollution Study, U.S. Environmental Protection Agency. Office of Air. Progr, - 1979, N AP-91, p. 65.
122. Austtenfeld, F. Zur phytotoxizitat von nickel- und kobaltsalzen in hydrokultur bei Phaseolus vulgaris L. / F.A. Austenfeld // Z. Pflanzenernahr. Bodenkunde. 1979. Bd.142, H. 6. S. 769-770.
123. Bauer R.E. Grundlagen und Methoden der Zuchtung bei der Garten erdbeere (Fragaria ananassa Duch.) / R.E Bauer // Pflanzenzucht. – 1960. – Bd. 44. - №1. – P. 73-100.
124. Businelli, D. Factors Involved in Uptake of Lead by Some Edible Crops Grown in Agricultural Soils of Central Italy/ D. Businelli, A. Onofri, L. Massaccesi // Soil Science: 2011. V. 176. P. 472-478.
125. Brooks, R.R. Plant that hyperaccumulate heavy metal (their role in phytoremediation, microbiology, archaeologie, mineral exploration and phytomining) / R.R. Brooks // Walling – ford: CAB International. - 1998. - 380 p.
126. Cakmak, I. Uptake and retranslocation of leaf-applied cadmium (109 Cd) in diploid, tetraploid and hexaploid wheats / I. Cakmak., R.M. Welch., J. Harh., W.A. Norvell., L. Ozturk., L.V/ Kochian // J. Exp. Bot. 2000. V. 51, N 343. P. 221-226.

127. Cataldo, C.A. Cadmium uptake kinetics in intact soybean plants / C.A. Cataldo., T.R. Garland., R.E. Wildung // *Plant Physiol.* 1983. V. 73. P. 844-848.
128. Choudhary, M. Effect of zinc on cadmium concentration in the tissue of durum wheat / M. Choudhary., L.D. Bailey., C.A. Grant // *Can. J. Plant Sci.* 1994. V. 74. P. 549-552.
129. Costa, G. Cadmium uptake by *Lupinus albus* (L.): cadmium excretion, a possible mechanism of cadmium tolerance / G. Costa., J.L. Morel // *J. Plant Nutr.* 1993. V. 16. P. 1921-1929.
130. Costa, G. Efficiency of H⁺ - ATPase activity cadmium uptake by four cultivars lettuce / G.Costa, J.L. Morel // *J. Plant Nutr.* 1994. V. 17. P. 627-637.
131. Culter, J.M. Characterization of cadmium uptake by plant tissue / J.M. Culter., D.W. Rains // *Plant Physiol.* 1974. V. 54, № 1. P. 67-71.
132. Coughtry, P.J. Cadmium uptake and distribution in tolerant and nontolerant populations of *Holcus lanatus* grown in solution culture / P.J. Coughtry., M.N. Martin // *Oikos.* 1978. V. 30. P. 555-558.
133. Davis, B.E. Trace elements in vegetables grown on soil contaminated by base metal mining / B.E. Davis., H.M. White // *J. Plant. Nutr.* 1981. V. 3, N 3-4. P. 387-390.
134. Enstone, D.E. The apoplastic permeability of root apices / D.E. Enstone., C.A. Peterson // *Can. J. Bot.* 1992. V. 70. P. 1502-1512.
135. Florjin, P.J. Uptake and distribution of cadmium in maize inbred lines / P.J. Florjin., M.L. Beusichem // *Plant Soil.* 1993a. V. 150. P. 25-32.
136. Godbold D.L. Cadmium uptake in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) seedlings / D.L. Godbold // *Tree Physiol.* 1991. N 9. P. 349-357.
137. Godzic B. Heavy metals content in plants from zinc dumps and reference areas / B. Godzic // *Polish. Bot. Stud.* 1993. V. 5. P. 113-130.
138. Grant, C.A. Cadmium accumulation in crops. / C.A. Grant, W.T. Backley., L.D. Bailey., Selles F. // *Can. J. Plant Sci.* 1998. V. 78. P. 1-17.

139. Harris, N.S. Remobilization of cadmium in maturing shoots of near isogenic lines of durum wheat that differ in grains cadmium accumulation / N.S. Harris., G.J. Taylor // *J. Exp. Bot.* 2001. V. 52, N 360. P. 1473-1480.
140. Hart, J.J. Characterization of cadmium binding, uptake and translocation in intact seedlings of bread and durum wheat cultivars / J.J. Hart., R.M. Welch., W.A. Norvell., L.A. Sullivan., L.V. Kochian // *Plant Physiol.* 1998 V. 116. P. 1413-1420.
141. Hovmand M.F. Plant uptake of airborne cadmium./ M.F. Hovmand., J.C.Tjell., H.Mosbaek// *Environ. Pollut. Ser. A.* 1983. V.30.P. 27-32.
142. Kannan, S. Mechanisms of foliar uptake of plant nutrients: accomplishments and prospects / S. Kannan // *J. Plant Nutr.* 1980. V. 2, N 6. P. 717-732.
143. Karakljajic-Stajic, I.S. Microelements content in leaves of raspberry cv. Willamette as affected by foliar nutrition and substrates/ Z. Karakljajic-Stajic, I.S. Glasic, Dj. Ruzic, T. Vujovic, M. Pesakovic// *Horticultural Sciences (Prague).*, 2012.- V.39, No.2: P. 67-73.
144. Koeppe, D.E. The uptake, distribution and effect of Cd and Pb in plants / D.E. Koeppe // *Sci. Total Environ.*, - 1977. - V. 117. P. 197-206.
145. Kovalenko C. G. Accumulation and distribution of micronutrients in Willamette red raspberry plants / C. G. Kovalenko// *Canadian Journal of Plant Science*,2004. 85: P. 179-191.
146. Kuboi, N. Family-dependent cadmium accumulation characteristics in higher plants / N. Kuboi., A. Noguchi., J. Yazaki // *Plant Soil.* 1986. V. 92. P. 405-408.
147. Lagerwerff, J.V. Lead, mercury and cadmium as environmental contents / J.V. Lagerwerff // *Micronutrients in Agryculture.* - 1972. - Madison, USA: Soil Sci. Soc. Am. Inc. - P. 593-636.
148. Lasat, M.M. Physiological characterization of root Zn²⁺ absorption and translocation to shoots in Zn hyperaccumulator and nonaccumulator species

- of *Thlaspi* / M.M. Lasat., A.J.M. Baker., L.V. Kochian // *Plant Physiol.* 1996. V. 112. P. 1715-1722.
149. Little, P.E. A study of heavy metal contamination of leaf surfaces / P.E.Little // *Environ. Pollut.* 1973. V. 5, N 3. P. 159-162.
150. Liu, D. Effects of cadmium on root growth, cell division and nucleoli in root tip cells of garlic / D. Liu., W. Jiang., X. Gao // *Biol. Plant.* 2003/4. V. 47, N 1. P. 79-83.
151. Merrington, G. The flux of Cd, Cu, Pb and Zn in mining polluted soils/ G.Merrington, B.J. Alloway// *Water Air Soil Pollut.* 1994. V. 73. P. 333-344.
152. Moral, R. Distribution and accumulation heavy metals (Cd, Ni, and Cr) in tomato plant / R. Moral., /g. Palacios., I. Gomez., J. Navarro-Pedreno., J. Mataix // *Eresenius Environ. Bull.* 1994. V. 3. P. 395-397.
153. Nicholson, F.A. Effeccet of phosphate fertilizers and atmospheric deposition on long-term changes in the cadmium content of soils and crops / F.A. Nicholson., K.C. Jones., A.E. Johnston // *Environ. Sci. Technol.* 1994. V. 28. P. 2170-2175.
154. Page, V. Selective transport of zinc, manganese, nickel, cobalt and cadmium in the root system and transfer to the leaves in young wheat plants / V. Page., U.R.S. Feller // *Ann. Bot.* 2005. V. 96. P. 425-428.
155. Petit, C.M. In vivo measurement of cadmium transport and accimulations in the stems of intact tomato plants / C.M. Petit., S.C. Van de Geijn // *Planta.* 1978. V. 138, N 2. P. 137-143.
156. Prasad, M.N.V. Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants / M.N.V. Prasad // *Environ. Exp. Bot.* 1995. V. 35. P. 525-545.
157. Sarret, G. Forms of zinc accumulated in the hyperaccumulator *Arabidopsis halleri* /G. Sarret., P. Saumitow-Laprade., V. Bert., O. Proux., J.L. Hazemann., A.S. Traverse., M.A. Marcus., A. Manceau// *Plant Physiol.* 2002. V. 130. P. 1815-1820.

158. Sauerheck, D. Zur cadmiumbelastung von Mineraldüngen in Abhängigkeit von Rohstoff und Herstellungsverfahren / D. Sauerheck., E. Rictz // Landwirt. Forsch. 1981. V. 37. P. 685-696.
159. Salt, D.E. MgATP-dependent transport of phytochelatins across the tonoplast of oat roots / D.E. Salt., W.E. Rauser // Plant Physiol. 1995. V. 107. P. 1293-1298.
160. Salt, D.E. Zinc ligands in the metal hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* as determined using X-ray spectroscopy / D.E. Salt., R.C. Prince., A.J.M. Baker., I. Raskin., I.J. Pickering // Environ. Sci. Technol. 1999. V. 33. P.713-715.
161. Siedlecka, A. Some aspects of interactions between heavy metals and plant mineral nutrients / A. Siedlecka// Acta Soc. Bot.Pol. 1995. V. 64, N 3. P. 262-272.
162. Tiller, K.G. Heavy metals in Soils and Their Environmental Significance. / K.G Tiller // Advances in Soil Science. - 1989, vol.9, p.113.
163. Williams, C. Some effect of the distribution of cadmium and phosphate in root zone on cadmium content of plants / C. Williams., D. David // Austral. J. Soil Res. 1977. V. 15, N 1. P. 59-64.
164. Wierzbicka, M. Lead accumulation and its translocation in roots of *Allium cepa* L - autoradiographic and ultrastructural studies / M. Wierzbicka // Plant Cell Environ. 1987. V. 10. P. 17-21.
165. Welch, R.M. Effects of nutrient solution zinc activity on net uptake, translocation and roots export of cadmium and zinc by separated sections of intact durum wheat (*Triticum turgidum* L. var durum) seedling roots / R.M. Welch., J.J. Hart., W.A. Norvell., L.A. Sullivan., L.V. Kochian // Plant Soil. 1999. V. 208. P. 243-250.
166. Yang, X.E. Influx, transport and accumulation of cadmium in plant species grown at different Cd²⁺ activities / X.E. Yang., V.C. Baligar., D.C. Martens., R.B. Clark // J. Environ. Sci. Health. 1995. V. 30. P. 569-580.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Схема расположения делянок полевого опыта

Защитный ряд	7/ 7	14 /7	21 /4	28 /7	35 /7	42 /4	49 /7	56 /7	63 /4	70 /7	77 /7	84 /4	Защитный ряд
	6/ 6	13 /5	20 /7	27 /6	34 /5	41 /7	48 /6	55 /5	62 /7	69 /6	76 /5	83 /7	
	5/ 5	12 /1	19 /5	26 /5	33 /1	40 /5	47 /5	54 /1	61 /5	68 /5	75 /1	82 /5	
	4/ 4	11 /4	18 /1	25 /4	32 /4	39 /1	46 /4	53 /4	60 /1	67 /4	74 /4	81 /1	
	3/ 3	10 /2	17 /3	24 /3	31 /2	38 /3	45 /3	52 /2	59 /3	66 /3	73 /2	80 /3	
	2/ 2	9/ 6	16 /6	23 /2	30 /6	37 /6	44 /2	51 /6	58 /6	65 /2	72 /6	79 /6	
	1/ 1	8/ 3	15 /2	22 /1	29 /3	36 /2	43 /1	50 /3	57 /2	64 /1	71 /3	78 /2	
Рубиновый Кулон			Мамочка			Былинная			Богема				

Цифрами показаны: номер делянки/номер варианта

схема посадки земляники 80×20 см;

площадь делянки – $1,6\text{ м}^2$; количество растений на делянке – 10 шт.

Варианты опыта: 1. Контроль; 2. $\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$; 3. ЦСП 15 т/га; 4. ЦСП 25 т/га; 5.

$\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ + ЦСП 15 т/га; 6. $\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ + ЦСП 25 т/га, 7. Известь 2 т/га

Приложение 2

Агрохимические показатели почвы микрополевого опыта с земляникой (слой 0-20 см) по окончании 1-го и 2-го периодов вегетации 2006 – 2007гг

Вариант	1-й период вегетации		
	pHКCl	P2O5	K2O
Контроль	5,49	32,62	41,92
Цеолит (ЦСП) 15 т/га	5,50	31,90	50,70*
Цеолит (ЦСП) 25 т/га	5,50	29,50	44,29
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	5,54	34,73	45,49
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + ЦСП 15 т/га	5,51	36,82	45,23
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + ЦСП 25 т/га	5,52	37,98*	49,17*
Известь 2 т/га	5,90*	37,39*	43,44
НСР 0,05	0,16	4,48	7,06

Вариант	2-й период вегетации						
	pHКCl	Нобщ.	P2O5	K2O	СПО.	Ca 2+	Mg2+
Контроль	5,50	2,66	32,94	65,55	18,34	11,23	4,88
(ЦСП) 15 т/га	5,48	2,71	36,24	66,14	14,02*	11,15	4,95
Цеолит(ЦСП) 25 т/га	5,53	2,67	29,86	65,42	18,35	10,98	4,94
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	5,42	2,89	33,73	65,76	17,97	11,20	5,14
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + ЦСП 15 т/га	5,40	2,82	32,38	62,48	17,84	11,12	4,90
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + ЦСП 25 т/га	5,44	2,87	34,38	66,89	18,00	11,00	4,98
Известь 2 т/га	5,83*	1,99*	33,49	69,19	19,47*	12,10*	4,85
НСР 0,05	0,16	0,28			0,85	0,63	

Приложение 3

Влияние агроприёмов на содержание ТМ в плодах изучаемых сортов

3.1. Влияние агроприёмов на содержание Рbв плодах, 2007 – 2008 гг.

(мг/кг сырой массы)

Фактор А сорт	Фактор В вариант	Фактор С годы		$\bar{X}A$ НСР _{0,5} =0,01	$\bar{X}AB$ НСР _{0,05} =0,01	$\bar{X}B$ НСР _{0,05} =0,01
		2007	2008			
Рубиновый КУЛОН	контроль	0,0503	0,056	0,018	0,053	0,042
	НРК	0,011	0,030		0,020	
	ЦСП 15т/га	0,007	0,006		0,006	
	ЦСП 25т/га	0,002	0,016		0,009	контроль
	НРК+ЦСП15т/га	0,003	0,008		0,005	0,036 НРК
	НРК+ЦСП25т/га	0,004	0,020		0,012	
	известь,2т/га	0,018	0,028		0,023	
Мамочка	Контроль	0,044	0,021	0,026	0,032	0,015 ЦСП15т/га
	НРК	0,032	0,013		0,022	
	ЦСП 15т/га	0,034	0,023		0,028	
	ЦСП 25т/га	0,026	0,022		0,024	0,013 ЦСП25т/га
	НРК+ЦСП15т/га	0,044	0,002		0,023	
	НРК+ЦСП25т/га	0,045	0,022		0,033	
	известь,2т/га	0,026	0,0177		0,021	
Былиная	Контроль	0,006	0,018	0,014	0,012	0,017 НРК+ЦСП15т/га
	НРК	0,020	0,017		0,018	
	ЦСП 15т/га	0,005	0,031		0,018	0,017 НРК+ЦСП25т/га
	ЦСП 25т/га	0,003	0,005		0,004	
	НРК+ЦСП15т/га	0,007	0,026		0,016	
	НРК+ЦСП25т/га	0,003	0,007		0,005	
	известь,2т/га	0,0153	0,0297		0,022	
Богема	контроль	0,090	0,054	0,033	0,072	0,017 НРК+ЦСП25т/га
	НРК	0,153	0,019		0,086	
	ЦСП 15т/га	0,013	0,004		0,008	
	ЦСП 25т/га	0,011	0,019		0,015	0,019 известь
	НРК+ЦСП15т/га	0,032	0,013		0,022	
	НРК+ЦСП25т/га	0,006	0,028		0,017	
	известь,2т/га	0,018	0,004		0,011	
$\bar{X}C$ НСР _{0,05} = 0,00		0,026	0,020			
НСР ВС _{0,05} = 0,01 НСР АС _{0,05} = 0,01 НСР АВС _{0,05} = 0,02						

Примечание: $\bar{X}A$ – среднее по фактору А (среднее содержание элемента во всех вариантах растения данного сорта); $\bar{X}B$ – среднее содержание элемента в варианте у всех изучаемых сортов; $\bar{X}C$ – среднее содержание элемента в вариантах всех сортов в данном году; $\bar{X}AB$ – среднее по двум годам содержание элемента в вариантах данного сорта.

3.2. Влияние агроприёмов на содержание Ni в плодах, 2007 – 2008 гг.

(мг/кг сырой массы)

Фактор А сорт	Фактор В вариант	Фактор С годы		\bar{X}_A НСР _{0,5} =0,00	\bar{X}_{AB} НСР _{0,05} =0,01	\bar{X}_B НСР _{0,05} =0,00
		2007	2008			
Рубиновый кулон	контроль	0,0162	0,005	0,009	0,011	0,021 контроль
	НРК	0,005	0,011		0,008	
	ЦСП 15т/га	0,024	0,007		0,016	
	ЦСП 25т/га	0,006	0,009		0,008	0,016 НРК
	НРК+ЦСП15т/га	0,016	0,002		0,009	
	НРК+ЦСП25т/га	0,002	0,004		0,003	
	известь,2т/га	0,013	0,004		0,009	
Мамочка	Контроль	0,008	0,011	0,009	0,009	0,010 ЦСП15т/га
	НРК	0,007	0,009		0,008	
	ЦСП 15т/га	0,011	0,006		0,009	
	ЦСП 25т/га	0,006	0,009		0,008	0,008 ЦСП25т/га
	НРК+ЦСП15т/га	0,014	0,019		0,017	
	НРК+ЦСП25т/га	0,005	0,008		0,007	
	известь,2т/га	0,002	0,004		0,003	
Былиная	Контроль	0,011	0,019	0,011	0,015	0,012 НРК+ЦСП15т/га
	НРК	0,009	0,017		0,013	
	ЦСП 15т/га	0,008	0,005		0,007	0,012 НРК+ЦСП15т/га
	ЦСП 25т/га	0,009	0,011		0,010	
	НРК+ЦСП15т/га	0,018	0,018		0,018	
	НРК+ЦСП25т/га	0,006	0,006		0,006	
	известь,2т/га	0,005	0,018		0,012	
Богема	контроль	0,055	0,039	0,020	0,047	0,01 НРК+ЦСП25т/га
	НРК	0,056	0,016		0,036	
	ЦСП 15т/га	0,007	0,012		0,009	
	ЦСП 25т/га	0,008	0,004		0,006	0,009 известь
	НРК+ЦСП15т/га	0,006	0,004		0,005	
	НРК+ЦСП25т/га	0,040	0,007		0,024	
	известь,2т/га	0,008	0,019		0,014	
\bar{X}_C НСР _{0,05} = 0,00		0,014	0,019			
НСР BC _{0,05} = 0,00 НСР AC _{0,05} = 0,00 НСР ABC _{0,05} = 0,01						

3.3. Влияние агроприёмов на содержание **Zn** в плодах, 2007 – 2008 гг.

(мг/кг сырой массы)

Фактор А сорт	Фактор В вариант	Фактор С годы		\bar{X}_A НСР _{0,5} =0,14	\bar{X}_{AB} НСР _{0,05} =0,36	\bar{X}_B НСР _{0,05} =0,18
		2007	2008			
Рубиновый кулон	контроль	0,325	0,332	0,164	0,329	контроль 0,369
	НРК	0,185	0,231		0,208	
	ЦСП 15т/га	0,087	0,152		0,120	
	ЦСП 25т/га	0,049	0,280		0,165	
	НРК+ЦСП15т/га	0,247	0,226		0,237	НРК 0,203
	НРК+ЦСП25т/га	0,004	0,168		0,086	
	известь,2т/га	0,044	0,139		0,092	
Мамочка	Контроль	0,566	0,366	0,322	0,466	ЦСП15т/га 0,207
	НРК	0,257	0,108		0,183	
	ЦСП 15т/га	0,623	0,131		0,377	
	ЦСП 25т/га	0,374	0,226		0,3	ЦСП25т/га 0,279
	НРК+ЦСП15т/га	0,543	0,160		0,351	
	НРК+ЦСП25т/га	0,340	0,230		0,285	
	известь,2т/га	0,434	0,151		0,293	
Былиная	Контроль	0,526	0,232	0,332	0,379	НРК+ЦСП15т/га 0,380
	НРК	0,205	0,166		0,186	
	ЦСП 15т/га	0,071	0,019		0,045	
	ЦСП 25т/га	0,149	0,556		0,353	НРК+ЦСП15т/га 0,380
	НРК+ЦСП15т/га	1,437	0,157		0,797	
	НРК+ЦСП25т/га	0,356	0,070		0,213	
	известь,2т/га	0,302	0,398		0,350	
Богема	контроль	0,433	0,167	0,266	0,300	НРК+ЦСП25т/га 0,196
	НРК	0,431	0,036		0,234	
	ЦСП 15т/га	0,484	0,087		0,286	
	ЦСП 25т/га	0,364	0,234		0,299	НРК+ЦСП25т/га 0,286 известь
	НРК+ЦСП15т/га	0,085	0,187		0,136	
	НРК+ЦСП25т/га	0,234	0,161		0,198	
	известь,2т/га	0,621	0,194		0,408	
\bar{X}_C НСР _{0,05} = 0,10		0,349	0,199			
НСР BC _{0,05} = 0,25 НСР AC _{0,05} = 0,19 НСР ABC _{0,05} = 0,51						

3.4. Влияние агроприёмов на содержание Fe в плодах, 2007 – 2008 гг.

(мг/кг сырой массы)

Фактор А сорт	Фактор В вариант	Фактор С годы		$\bar{X}A$	$\bar{X}AB$	$\bar{X}B$
		2007	2008	$НСП_{0,5}=0,11$	$НСП_{0,05}=0,28$	$НСП_{0,05}=0,14$
Рубиновый кулон	контроль	0,504	0,588	0,302	0,546	0,521 контроль
	НРК	0,168	0,283		0,226	
	ЦСП 15т/га	0,040	0,160		0,100	
	ЦСП 25т/га	0,051	0,264		0,158	0,284 НРК
	НРК+ЦСП15т/га	0,592	0,290		0,441	
	НРК+ЦСП25т/га	0,200	0,218		0,209	
	известь,2т/га	0,468	0,396		0,432	
Мамочка	Контроль	0,635	0,426	0,423	0,531	0,284 ЦСП15т/га
	НРК	0,518	0,449		0,484	
	ЦСП 15т/га	0,693	0,314		0,504	
	ЦСП 25т/га	0,417	0,284		0,351	0,309 ЦСП25т/га
	НРК+ЦСП15т/га	0,580	0,117		0,349	
	НРК+ЦСП25т/га	0,492	0,400		0,446	
	известь,2т/га	0,430	0,165		0,298	
Былиная	Контроль	1,189	0,289	0,469	0,739	0,440 НРК+ЦСП15т/га
	НРК	0,174	0,154		0,164	
	ЦСП 15т/га	0,511	0,214		0,363	0,346 известь
	ЦСП 25т/га	0,299	0,392		0,346	
	НРК+ЦСП15т/га	1,302	0,302		0,802	
	НРК+ЦСП25т/га	0,398	0,285		0,342	
	известь,2т/га	0,790	0,260		0,525	
Богема	контроль	0,196	0,340	0,263	0,268	0,346 НРК+ЦСП25т/га
	НРК	0,232	0,289		0,261	
	ЦСП 15т/га	0,113	0,227		0,170	
	ЦСП 25т/га	0,374	0,385		0,380	0,366 известь
	НРК+ЦСП15т/га	0,240	0,098		0,169	
	НРК+ЦСП25т/га	0,299	0,470		0,385	
	известь,2т/га	0,326	0,092		0,209	
$\bar{X}C$		0,434	0,291			
$НСП_{0,05}=0,08$						
$НСП BC_{0,05}=0,20$ $НСП AC_{0,05}=0,15$ $НСП ABC_{0,05}=0,40$						

3.5. Влияние агроприёмов на содержание **Cu** в плодах, 2007 – 2008 гг.

(мг/кг сырой массы)

Фактор А сорт	Фактор В вариант	Фактор С годы		$\bar{X}A$	$\bar{X}AB$	$\bar{X}B$
		2007	2008	$HC_{P,0,5}=0,01$	$HC_{P,0,05}=0,02$	$HC_{P,0,05}=0,01$
Рубиновый кулон	контроль	0,054	0,071	0,042	0,063	0,062 контроль
	НРК	0,033	0,048		0,041	
	ЦСП 15т/га	0,023	0,054		0,039	
	ЦСП 25т/га	0,028	0,038		0,033	
	НРК+ЦСП15т/га	0,053	0,040		0,047	0,042 НРК
	НРК+ЦСП25т/га	0,027	0,042		0,035	
	известь,2т/га	0,035	0,046		0,041	
Мамочка	Контроль	0,060	0,064	0,050	0,062	0,047 ЦСП15т/га
	НРК	0,038	0,041		0,040	
	ЦСП 15т/га	0,062	0,037		0,050	
	ЦСП 25т/га	0,054	0,033		0,044	
	НРК+ЦСП15т/га	0,091	0,036		0,064	0,047 ЦСП25т/га
	НРК+ЦСП25т/га	0,046	0,061		0,054	
	известь,2т/га	0,038	0,034		0,036	
Контроль	0,076	0,043	0,049	0,060	0,049 НРК+ЦСП15т/га	
НРК	0,044	0,052		0,048		
ЦСП 15т/га	0,041	0,044		0,043		
ЦСП 25т/га	0,042	0,061		0,052		
НРК+ЦСП15т/га	0,040	0,040		0,040		
НРК+ЦСП25т/га	0,056	0,055		0,056		
известь,2т/га	0,050	0,044		0,047		
Богема	контроль	0,078	0,046	0,053	0,062	0,050 НРК+ЦСП25т/га
	НРК	0,031	0,048		0,040	
	ЦСП 15т/га	0,065	0,045		0,055	
	ЦСП 25т/га	0,060	0,059		0,060	0,045 известь
	НРК+ЦСП15т/га	0,030	0,059		0,045	
	НРК+ЦСП25т/га	0,047	0,060		0,054	
	известь,2т/га	0,053	0,058		0,056	
$\bar{X}C$ $HC_{P,0,05}=0,01$		0,048	0,049			
$HC_{P} BC_{0,05}=0,02$ $HC_{P} AC_{0,05}=0,01$ $HC_{P} ABC_{0,05}=0,03$						

Приложение 4

Урожайность изучаемых сортов земляники, 2007-2008 гг. (г/делянку)

4.1. Урожайность сорта Рубиновый кулон

Фактор А вариант	Фактор В годы		\bar{X}_A НСР _{0,5} = 587,75
	2007	2008	
контроль	1666,66	2139,71	1903,18
НРК	1466,66	1882,57	1674,61
ЦСП 15 т/га	1850,00	2378,38	2114,19
ЦСП 25 т/га	1766,66	2267,71	2017,18
НРК+ЦСП 15 т/га	1616,66	2074,85	1845,75
НРК+ЦСП 25 т/га	1366,66	1753,42	1560,04
Известь, 2 т/га	1366,66	1753,42	1560,04
\bar{X}_B НСР _{0,5} = 232,80	1585	2035,72	
НСР _{0,5} AB = 615,93			

4.2. Урожайность сорта Мамочка

Фактор А вариант	Фактор В годы		\bar{X}_A НСР _{0,5} = 986,87
	2007	2008	
контроль	1500,0	1928,57	1714,28
НРК	1416,66	2104,0	1760,33
ЦСП 15 т/га	1183,33	2377,0	1780,16
ЦСП 25 т/га	1050,0	1350,0	1200,0
НРК+ЦСП 15 т/га	1166,66	2496,85	1831,75
НРК+ЦСП 25 т/га	750,00	639,46	694,73
Известь, 2 т/га	533,33	2683,45	1608,39
\bar{X}_B НСР _{0,5} = 527,51	1085,71	1939,90	
НСР _{0,5} AB = 1395,65			

4.3. Урожайность сорта Былинная

Фактор А вариант	Фактор В годы		\bar{X}_A НСР _{0,5} = 760,69
	2007	2008	
контроль	1216,66	1561,14	1388,9
НРК	633,33	2281,0	1457,16
ЦСП 15 т/га	1316,66	1589,71	1453,18
ЦСП 25 т/га	1203,33	1545,57	1374,45
НРК+ЦСП 15 т/га	1133,33	1838,10	1485,71
НРК+ЦСП 25 т/га	683,33	876,71	780,02
Известь, 2 т/га	1433,33	1841,0	1637,16
\bar{X}_B НСР _{0,5} = 406,61	1104,71	1647,60	
НСР _{0,5} AB = 1075,78			

4.3. Урожайность сорта Богема

Фактор А вариант	Фактор В годы		\bar{X}_A НСР _{0,5} = 787,34
	2007	2008	
контроль	1125,0	2546,40	1835,7
НРК	1175,0	2661,5	1918,25
ЦСП 15 т/га	600,0	3697,10	2148,55
ЦСП 25 т/га	1150	2604,20	1877,1
НРК+ЦСП 15 т/га	1125,0	2546,40	1835,7
НРК+ЦСП 25 т/га	1100,0	2491,4	1795,7
Известь, 2 т/га	900	2037,10	1468,55
\bar{X}_B НСР _{0,5} = 420,85	1025,0	2654,87	
НСР _{0,5} AB = 1113,46			

Приложение 5

Средняя масса ягоды, изучаемых сортов 2007-2008гг. (грамм)

5.1. Средняя масса ягоды сорта Рубиновый кулон

Фактор А вариант	Фактор В годы		\bar{X}_A НСР _{0,5} = 2,56
	2007	2008	
контроль	10,33	15,73	13,03
НРК	10,58	15,06	12,82
ЦСП 15 т/га	11,03	15,0	13,01
ЦСП 25 т/га	14,24	17,93	16,08
НРК+ЦСП 15 т/га	12,08	16,76	14,42
НРК+ЦСП 25 т/га	11,61	15,63	13,62
Известь, 2 т/га	11,56	18,53	15,04
\bar{X}_B НСР _{0,5} =1,37	11,63	16,37	
НСР _{0,5} AB= 3,62			

5.2. Средняя масса ягоды сорта Мамочка

Фактор А вариант	Фактор В годы		\bar{X}_A НСР _{0,5} =2,86
	2007	2008	
контроль	7,59	12,33	9,96
НРК	10,40	11,83	11,11
ЦСП 15 т/га	9,78	12,30	11,04
ЦСП 25 т/га	5,76	11,23	8,49
НРК+ЦСП 15 т/га	12,0	12,16	12,08
НРК+ЦСП 25 т/га	7,14	13,53	10,33
Известь, 2 т/га	5,04	13,50	9,27
\bar{X}_B НСР _{0,5} =1,53	8,24	12,41	
НСР _{0,5} AB= 4,05			

5.3. Средняя масса ягоды сорта Былинная

Фактор А вариант	Фактор В годы		\bar{X}_A НСР _{0,5} = 3,86
	2007	2008	
контроль	5,94	9,61	7,77
НРК	6,50	11,33	8,91
ЦСП 15 т/га	13,49	11,45	12,47
ЦСП 25 т/га	7,92	11,93	9,92
НРК+ЦСП 15 т/га	8,39	10,85	9,62
НРК+ЦСП 25 т/га	6,40	11,30	8,85
Известь, 2 т/га	8,14	13,26	10,7
\bar{X}_B НСР _{0,5} = 2,06	8,11	11,39	
НСР _{0,5} AB = 5,45			

5.4. Средняя масса ягоды сорта Богема

Фактор А вариант	Фактор В годы		\bar{X}_A НСР _{0,5} = 2,80
	2007	2008	
контроль	14,28	18,10	16,19
НРК	15,70	25,0	20,35
ЦСП 15 т/га	11,91	20,0	15,95
ЦСП 25 т/га	13,03	25,65	19,34
НРК+ЦСП 15 т/га	13,12	47,75	30,43
НРК+ЦСП 25 т/га	10,79	20,0	15,39
Известь, 2 т/га	9,0	17,0	13,0
\bar{X}_B НСР _{0,5} = 1,50	12,54	24,78	
НСР _{0,5} AB = 3,96			