

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

"ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"

Факультет физико-математических и
естественных наук

Кафедра "Общая биология и
биохимия"

Направление подготовки 06.03.01 Биология

Профиль Биохимия

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему:

**«АККУМУЛЯЦИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ У
ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ. БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ»**

Студент  Ахмерова Гульнара Хамзиевна

Руководитель  Хрянин В.Н.

Нормоконтролёр  Кручинина А.Д.

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 09.06.18 № 14)

Заведующий кафедрой  Карпова Г.А.

Работа защищена с отметкой хорошо (протокол заседания ГЭК от 20.06.18 № 4)

Секретарь ГЭК  Кручинина А.Д.

Пенза, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА РАСТЕНИЯ	6
1.1 Общая характеристика тяжелых металлов и их значение.....	6
1.2 Основные причины токсичности тяжелых металлов.....	8
1.3 Физиологическая роль тяжелых металлов в растительном организме.....	12
1.4 Биохимические особенности содержания тяжелых металлов у высших растений.....	21
Выводы по 1 главе.....	25
ГЛАВА 2. НАКОПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАСТИТЕЛЬНОМ ОРГАНИЗМЕ	26
2.1 Поступление тяжелых металлов в растения.....	26
2.2 Транслокация и накопление тяжелых металлов в растении...	40
Выводы по 2 главе.....	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	50
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	51

ВВЕДЕНИЕ

В условиях стремительного развития промышленности и транспортных коммуникаций, исследования полезных ископаемых, активной химизации сельского хозяйства в значительной степени увеличивается уровень загрязнения окружающей среды, прежде всего, почв и растений [4].

Из всего многообразия химических веществ, которые возникают из антропогенных источников, центральное место отводится тяжелым металлам, обладающим высокой токсичностью.

Тяжелые металлы могут входить в биологический круговорот веществ и накапливаться в человеческом организме.

Самые токсичные из всех тяжелых металлов – соли кадмия, свинца, цинка, никеля, меди, кобальта. Стоит отметить, что перечисленные тяжелые металлы обладают канцерогенными свойствами [3]. На их перемещение и распределение в компонентах экосистемы оказывает влияние совокупность природных факторов, в том числе интенсивность и характер техногенеза [14].

Кроме того, важнейшая часть природных и антропогенных ландшафтов – растения, способные впитывать из почвы тяжелые металлы, накапливая их в тканях или на поверхности листьев. Поэтому растения являются промежуточным звеном в цепи «почва-растение-животное-человек».

Безусловно, накопление растениями тяжелых металлов – это достаточно опасный процесс, поэтому следует оценивать растительное сырье на наличие в нем экологически вредных компонентов [1].

Порой растения вынуждены поглощать тяжелые металлы, даже в большом количестве. Этим они отличаются от животных. Именно поэтому проблема компартментация тяжелых металлов в растениях – это первостепенный вопрос, который ставится в процессе исследования их токсичного влияния.

Возможность растений аккумулировать скапливать тяжелые металлы способна выражаться на различных стадиях организации: клеточном,

тканевом и органном. Это вызвано способностью растений концентрировать металлы в клеточных оболочках и вакуолях клеток разных тканей и органов. Более того, у растений наблюдаются барьерные ткани, замедляющие движение большинства тяжелых металлов [7].

Скапливание тяжелых металлов в метаболически малоактивных местах клеток и в органах, которые растение может в последующем потерять, а также интеграция металлов с хелаторами и их превращение в корневую слизь способны стать инструментом детоксикации тяжелых металлов, из-за чего тяжелые металлы исключаются из активного метаболизма. Из-за действенных механизмов детоксикации металлов растения не задерживают собственный рост при увеличенном их содержании в среде [15].

Имеется множество исследований, в которых речь идет о токсичном влиянии тяжелых металлов и их размещении по органам растений, а именно, об их распределении внутри клеток. Стоит отметить, что сведений о расположении металлов на тканях немного, но при этом собственно исследование их разделения по тканям растений – это существенный фактор для трактовки механизмов их токсичного воздействия и морфофизиологических механизмов детоксикации [20].

Цель исследования: охарактеризовать аккумуляцию и распределение тяжелых металлов у высших растений.

Объект исследования: высшие растения.

Предмет исследования: аккумуляция и распределение тяжелых металлов у высших растений.

Задачи исследования:

- 1) Изучить имеющиеся литературные данные по теме исследования.
- 2) Рассмотреть общую характеристику и причины токсичности тяжелых металлов.
- 3) Указать физиологическую роль, биохимические особенности тяжелых металлов в растительном организме.

- 4) Охарактеризовать накопление и распределение тяжелых металлов в растительном организме.
- 5) Выявить результаты взаимодействия растительных организмов с тяжелыми металлами.

Бакалаврская работа выполнена на 51 листе, содержит 5 рисунков, 7 таблиц и список литературы на русском и иностранных языках из 35 источников.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА РАСТЕНИЯ

1.1 Общая характеристика тяжелых металлов и их значение

Основные загрязнители окружающей среды – это тяжелые металлы. Поясним, что тяжелыми металлами являются такие элементы, относительная атомная масса которых равна не более 40 и плотность которых равна не более 5 г/см³. Стоит отметить, что некоторые исследователи считают, что тяжелыми металлами являются и такие химические элементы, атомная масса которых превышает 50 и плотность которых больше 6 г/см³ [2].

Тяжелые металлы имеют относительно высокую плотность по сравнению с водой [1]. Исходя из предположения, что тяжесть и токсичность взаимосвязаны, тяжелые металлы также включают металлоиды, такие как мышьяк, которые способны вызывать токсичность при низком уровне воздействия [2]. В последние годы все большее внимание уделяется экологическим и глобальным проблемам общественного здравоохранения, связанным с загрязнением окружающей средой этими металлами. Кроме того, воздействие людей резко возросло в результате экспоненциального увеличения их использования промышленных, сельскохозяйственных, бытовых и технологических предприятиях [3]. Загрязнение окружающей среды очень заметно в таких районах, как горнодобывающая промышленность, литейные заводы и металлургические заводы, а также другие промышленные предприятия на основе металлов [1, 3, 4].

Хотя тяжелые металлы представляют собой природные элементы, которые встречаются по всей земной коре, большинство загрязнений окружающей среды и воздействие на человека являются результатом антропогенной деятельности, такой как добыча и плавка, промышленное производство и использование, а также внутреннее и сельскохозяйственное использование металлов и металлосодержащих соединений

Понятие «тяжелые металлы» пришло из технической литературы, в которой речь идет о том, что данные металлы могут быть тяжелыми и легкими. В растениях тяжелые металлы входят в состав микроэлементов наряду с физиологически важными. Поясним, что такими важными микроэлементами являются цинк, медь, железо, марганец, молибден, кобальт и иные. Абсолютно все микроэлементы способны отрицательно влиять на растения в том случае, если концентрация их допустимых форм превышает намеченные границы. Стоит отметить, что это вызвано тем, что влиянию любых химических веществ свойственна установленная дозовая норма [30].

Уточним, в чем проявляется негативное воздействие тяжелых металлов на окружающую среду:

1) Попадая в почву, тяжелые металлы повышают уровень минерализации органического вещества, из-за чего возникают отрицательные модификации в почвенно-поглощающем комплексе вследствие замены кальция и магния. Основные эффекты тяжелых металлов на семена проявляются в снижении прорастания, уменьшении удлинения корня и побега, сухости, общего уровня растворимого белка, изменения мембраны, изменения метаболизма и потери питательных веществ, все это способствует токсичности семян и снижению производительности.

2) Проникая в растения, тяжелые металлы способны активно участвовать в метаболических процессах, но при этом вполне могут сохраняться в форме недействующих соединений в клетках и на клеточных мембранах. Растения испытывают окислительный стресс при воздействии тяжелых металлов, что приводит к повреждению клеток. Кроме того, растения накапливают ионы металлов, которые нарушают клеточный ионный гомеостаз.

3) Наличие тяжелых металлов, таких как никель, кобальт, кадмий, медь, свинец, хром и ртуть в воздухе, почве и воде, может привести к биоаккумуляции, влияющей на всю экосистему, и представлять вредные последствия для здоровья во всех жизненных формах. Воздействие тяжелых

металлов на растения приводит к ингибированию роста, повреждению структуры, снижению физиологической и биохимической активности, а также функции растений. Эффекты и биодоступность тяжелых металлов зависят от многих факторов, таких как условия окружающей среды, pH, виды элементов, органические вещества среды и удобрения, виды растений [21].

Знакомы «металлические ряды», которые размещены по уровню их опасности для растений. Не глядя на отдельные их отличия, можно утверждать, что более токсичными как для высших растений, так и для микроорганизмов представляются Hg, Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Co. К данному ряду, по-видимому, также нужно прибавить Sn, Be, Ag.

1.2 Основные причины токсичности тяжелых металлов

Большинство растений накапливают металлы в количествах, во много раз превосходящих концентрацию металлов в почве. Возможность растений аккумулировать тяжелые металлы и быть устойчивыми к их излишку характеризуется отображением их индивидуальных особенностей.

Существует общее мнение, что белки являются ключевыми объектами тяжелых металлов. Металлы влияют на биологическую активность нативных, сложенных белков через различные способы взаимодействия; они могут: связываться с свободными тиолами или другими функциональными группами в белках; замещать в металлических пробах существенные металлические ионы; или катализировать окисление боковых цепей аминокислот [3,4,6]. Недавние исследования выявили дополнительный способ действия металлов, который нацелен на не сложенные белки.

Так, проникая в клетки, они соединяются с SH-группами, дезактивируя некоторые ферменты Cd, Pb, Zn, Ni предпочтительно взаимосвязывается с N-содержащими лигандами. В итоге появляются разнообразные нарушения метаболизма, и, как правило, не известно, какие из них первичные, а какие становятся итогом повреждения иных процессов [9, 14].

В научной литературе можно увидеть анализ тяжелых металлов как группу токсикантов. Стоит отметить, что некоторые металлы можно четко определить по физико-химическим свойствам их ионов и токсичности. Так, по влиянию на растения металлы делятся на 3 группы: сильно токсичные (Cu, Tl, Ag), среднетоксичные (Cd, Ni, Hg) и слаботоксичные (Pb, Co, Zn и Sr) [9].

Стоит отметить, что происходит процесс повышения ядовитости с увеличением атомного веса, но, безусловно, могут возникнуть и исключения, например, бериллий и медь. Так, медь для большинства клеток более опасна, нежели такие металлы, как барий, стронций и другие, несмотря на то, что обладают меньшим атомным весом.

Также разной силой воздействия обладает железо в двух- и трехвалентном состоянии, даже несмотря на то, что в обоих случаях атомный вес элементов совпадает.

Данный факт свидетельствует против преобладающего значения атомного веса для вредности металлов [17].

По мнению В.И. Вернадского и А.И. Войнара, корреляция воздействия металлов с их атомным весом в том, что в процессе повышения завершающего в данной группе элементов уменьшается их число в организме животного. А также повышается уровень ядовитости.

Металлы, обладающие большим атомным весом (свинец, ртуть, золото, серебро и др.), достаточно опасны. Стоит отметить, что их наличие в организме животного – спорно.

Первая попытка интегрировать ядовитость металлов с физическими свойствами, отличными от их атомного веса, была совершена в 1904 году Mathews, который утверждал, что физиологическая энергичность металла определяется легкостью, с которой он направляет свой электрон, степенью близости этого электрона к заряду элемента. Самая сильная связь обладает небольшой активностью элемента. Физическим показателем данной связи Mathews считает нормальный потенциал [24]. Благодаря данному показателю металл может переходить в раствор в форме ионов. Чем отрицательнее

нормальный потенциал металла, тем проще данный металл будет растворяться.

Так, Mathews, путем проведения опытов по исследованию воздействия растворов хлоридов самых разных металлов на изолированный нерв и яйца морского ежа, определял отношение нормального потенциала металлов с силой их воздействия. Вследствие исследования воздействия металлов он заключил, что их ядовитость изменяется обратно показателю нормального потенциала.

Malstrom и Rosenberg в 1951 году говорили о том, что такие черты, как электроотрицательность и ионный радиус, являются крайне устойчивыми параметрами в описании элементов в значении влияния на биологическую активность металлов, в том числе в процессе формирования ими комплексов в биологических средах. Стоит отметить, что стабильность комплексов зачастую является задачей электронных свойств металлов [12].

При помощи солей металлов в растворах способны образовываться ионы, гидраты и комплексы. При этом комплексы расщепляться, вследствие чего сформируются ионы.

По этой причине ядовитость, в первую очередь, может взаимодействовать с показателями атомов и ионами металлов, формирующие их активность, способность вступать в связь с протоплазмой, а также с ее элементами. Как показывают полученные данные, во вредном влиянии солей металлов большое значение имеет сам металл-катион.

Стоит отметить, что кислотный радикал способен в некоторой степени менять данный эффект. Это важно, когда говорится о карбонатах, которые не представляют большой опасности в процессе небольшой растворимости [11].

Общая токсичность и специфические эффекты солей металлов тесно связаны с дозой самого металла, в чем можно убедиться, если посмотреть на воздействие таллия, являющимся равным при одинаковом числе металла, представленного в виде многообразных солей.

Как показывает практика, влияние редкоземельных элементов на

свертываемость крови определяется только для ионов металла независимо от ионов.

Однако ученые доказали и то, что степень окисления основного элемента аниона способно влиять на ядовитость солей.

Ядовитость анионов, в которых имеются галоиды, множится с повышением степени окисления галоида. Что касается токсичности анионов, содержащих в себе элементы V – VI групп периодической системы элементов (азот, серу), снижается в процессе увеличения валентности [18].

Для галоидных соединений металлов практически первостепенное значение имеет гидролиза с созданием кислот. Этот гидролиз известен галогенидам множества металлов, таких, как олово, титан, тантал, ниобий, германий и др. Отрицательное влияние данных металлов объединено с гидролизом данных соединений в водных растворах, во влажном воздухе, а также при контакте с влажными средами организма, прежде всего, на слизистых оболочках дыхательных путей.

Отсюда следует, что биологический и ядовитый эффект солей, способен меняться из-за специфичности влияния анионов, например, галогенов, гидролиза, сопровождающийся образованием свободных кислот или оснований. Главную роль играет катион металла [6].

Как считает Seifritz, основной фактор, с которым связана большая часть ядовитости тяжелых металлов, - это электроотрицательность. Стоит отметить, что она может оказывать влияние на легкость взаимодействия металла с протоплазмой.

В периодической системе элементов электроотрицательность повышается слева направо в каждом периоде. То есть наблюдается тенденция к увеличению токсичности с одновременным ростом атомного веса.

Однако, по мнению Seifritz, невозможно одно единственное, доминирующее свойство, при этом, не пренебрегая действием других свойств.

Возможно, существуют показатели свойств металлов, которые тесно

связаны с их ядовитым влиянием. Так, в качестве примера можно привести способность большого количества металлов образовывать связи с атомом серы. Отсюда следует, что может быть выявлен механизм воздействия [26].

Однако если ввести всю дозу металла, катионы попадут в циркуляцию и распределятся по всему организму, начнет контактировать со всеми тканями, ставя под сомнение их естественную функцию, по этой причине и возникает смертельный эффект.

Также важно отметить, что огромную роль играет скорость и крепость формирующихся в биологических средах комплексов металлов со следующими биологически значительными формированиями: белки, ферменты, субстраты клеточных оболочек.

Опасность тяжелых металлов соединена с тем, что они закрывают центры ферментов и блокируют их из регуляции метаболизмом. Стоит отметить, что ядовитость металлов может интегрироваться с торможением большого количества ферментов из-за разрушения белков [8].

Но при этом есть такие металлы, которые отличаются специфической блокировкой установленных ферментов в небольших количествах. Поэтому особенности отравления некоторыми металлами узнаются в основном в процессе длительного взаимодействия с ними.

1.3 Физиологическая роль тяжелых металлов в растительном организме

Молибден. Среднее количество молибдена в почвах насчитывает 0,0003%. Более растворимы в воде и могут использоваться растениями соединения Mo^{6+} в нейтральной и слабощелочной среде. На кислых почвах молибден крайне не подходит растениям, в связи, с чем в данных условиях воздействует хорошо добавление молибденовых удобрений. Воздействие молибдена находится в зависимости от большого числа факторов: на кислых почвах воздействие молибдена находится в зависимости от количества

подвижного алюминия (чем больше алюминия, тем больше воздействие молибдена) [22].

Между молибденом и марганцем имеется обратная зависимость – избыток марганца порождает нехватку молибдена, и, напротив, наличие молибдена совершенствует состояние растений (льна), которые болеют на кислых почвах от избытка марганца. Противоположная подчиненность отмечается также между молибденом и медью (молибден вытесняет медь).

Молибден важен как для растений, так и для животных. При росте растений он помогает в циклах азота, кислорода и серы. Молибдат - это форма, которую растения могут поглощать, чтобы получить элемент. Песчаные почвы и кислые почвы содержат менее доступный молибден для роста растений. Этот элемент имеет решающее значение для функций азотистой и нитратредуктаз, важных для фиксации азота и сокращения азота. Не всем растениям требуется такое же количество молибдена. Растениям, таким как крестообразные и бобовые, требуется большее количество минерала.

Молибден и марганец, вероятнее всего, катализируют некоторые реакции, которые влияют на число аминокислот, представляющих собой промежуточные продукты белкового обмена. Благодаря молибдену возникает реакция, которая позволяет пройти путь от нитратов к образованию аминокислот. Что касается марганца, то он, скорее всего, является причиной зарождения дальнейшей фазы метаморфозов аминокислот в белки.

Молибден является единственным микроэлементом, который является мобильным внутри растения, поэтому симптомы дефицита проявляются на старших и средних листьях, но он распространяется на стебель и воздействует на новые листья. Наиболее чувствительными к дефициту молибдена являются брокколи, цветная капуста, капуста, горох, клеверы.

Молибден нужен не только лишь для хода образования белков в растениях, но и для образования витамина С и каротина, синтеза и перемещения углеводов, употребления фосфора [25].

Болезни молибденовой недостаточности:

- болезнь нитевидности цветной капусты. Проявляется в уменьшении листовой пластинки. Заражает растения на кислых почвах: известкование может предупредить появление болезни.
- желтая пятнистость цитрусовых (рисунок 1). Проявляется в возникновении желтых пятен на листьях, стремительно облетающих. При этом существенно убавляется число плодов.



Рис. 1 Желтая пятнистость цитрусовых

Никель. По результатам исследования, в почвах содержится около 0,004%, тогда как в поверхностных водах 0,00000034%. В растениях, в общем, заключается 0,00005% никеля. Растения, прорастающие в пределах никелевых месторождений, имеют возможность скапливать в себе значительное количество никеля.

При этом отмечаются показатели эндемической болезни растений, к примеру, некрасивые формы астр, что может помочь в поисках никелевых месторождений [27].

Увеличенное количество никеля в почвенных растворах и в почвах Южного Урала, богатые никелем в пятидесятикратном размере, является причиной возникновения неправильных, некрасивых форм у сон-травы (семейство лютиковых) и грудницы (семейство сложноцветных). Критичным

показателем содержания Ni в растворе является значение -1,5 мг/кг, а в сухой массе, выращенной в этой среде считается значение – 26 мг/кг. После увеличения значения этого элемента 1,0 мг/кг повышается уровень токсичности в растениях.

В процессе усвоения Ni растения реагируют вместе с железом, кобальтом, хромом, магнием, медью, цинком, марганцем в почве. Необходимо учитывать, ионы марганца и магния не препятствуют поглощению никеля, что нельзя сказать о железе и цинке, поэтому из-за них поглощение никеля замедляется примерно на 25-42 %.

Исследователи обнаружили, если почва богата серпантином, и там растут растения, не проявляют токсического влияния Ni, а отношение Cu и Ni равны или больше 1, а отношение железа и никеля равны или больше 5.

Характерные признаки ядовитого воздействия никеля: хлороз (рисунок 2), возникновение желтого окрашивания со следующим некрозом, прекращение роста корней и возникновения молодых побегов или ростков, деформация частей растения, неестественная пятнистость, в особых случаях – гибель всего растения.



Рис. 2 Хлороз листьев винограда

Марганец. Марганец расположен в почвах в среднем в количестве 0,085%. рН примерно ниже 6,0, содействует потреблению растениями Mn^{2+} ; слабощелочная реакция (рН выше 7,5) содействует формированию гидрата

$Mn(OH)_2$, который весьма сложно поглощается растениями.

Стоит отметить, что обычно число Mn в растениях = 0,001 %. Марганец может существовать в состояниях окисления I, II, III, IV, VI и VII. Однако в биологических системах оно в основном происходит в состояниях окисления II, III и IV, причем Mn II и Mn IV являются довольно стабильными, а Mn III - неустойчивыми. В растениях Mn II является доминирующей формой, но ее можно легко окислять до Mn III и Mn IV. Поэтому марганец играет важную роль в окислительно-восстановительных процессах [13].

Также важно отметить, что марганец входит в содержание или является активатором некоторых ферментативных систем. Кроме того, благодаря марганцу регламентируется соотношение Fe^{2+}/Fe^{3+} , таким образом, происходит воздействие окислительно-восстановительных процессов, реализуемых с помощью железа.

Стоит обратить внимание на то, что благодаря марганцу происходит усиление гидролитических процессов, в результате чего повышается количество аминокислот. Также марганец помогает продвигаться ассимилянтам, образующихся в процессе фотосинтеза от листьев к корням и другим органам. По данным, полученным П.А. Власюкой, марганец (если будет питаться нитратом растений), может выступать в роли восстановителя, а если будет питаться аммиаком, то выступит в роли окислителя.

Из-за этого при помощи марганца можно влиять на ход сахарообразования и формирования белков [14].

1. Серая пятнистость злаков (рисунок 3) встречается у овса, ячменя, пшеницы, ржи, кукурузы. Определяется возникновением на листьях узкой поперечной линии увядания. Листья начинают сгибаться по линии увядания, из-за чего свисают. На кукурузных листьях возникают некоторые хлоротичные пятна, в будущем отмирающие, что приводит к формированию отверстий на листьях.



Рис. 3 Серая пятнистость листьев ячменя

Болезнь сахарного тростника – на молодых листьях возникают длинные белые полосы хлоротичных участков, в будущем краснеющие; на данных местах настает разрыв листьев. Количество марганца в листьях сильно понижается; встречаются только следы (вместо 0,003% в норме). Болезнь растений формируется на щелочных и нейтральных почвах.

Пятнистая желтуха сахарной свеклы, а также кормовой, столовой свеклы и шпината (рисунок 4). В промежутках между жилками листьев возникают желтые хлоротичные участки; края листьев сворачиваются [7].



Рис. 4 Желтуха сахарной свеклы:

*1 – начальное поражение листа; 2 – конечное поражение листа;
3 – пораженный лист*

Болотная пятнистость семян гороха. Повреждаются как листья (легкий хлороз), так и семена гороха. На семенах возникают коричневые или черные пятна; на внутренней поверхности семядолей формируются полости.

Болезни плодовых растений выражаются в хлорозе листьев (у главной жилки), предпочтительно старых. Отмирают ветви, светлеют плоды. Больше всего поражается груша; вишня и яблоня – меньше [21].

Возможность аккумулировать марганец не обязательно характерна для всех видов этого рода и не соединена с систематическим расположением растения. Аккумуляторами марганца считаются лютик золотистый, полынь лекарственная, отдельные папоротники, сосна, береза, пасленовые [3].

Растения-манганофилы энергично вытягивают марганец из почв. Если растения-манганофилы растут на почвах с небольшим количеством быстро перевариваемого марганца, то они в особенности мучаются от его нехватки. Так, на черноземе, который небогат легко доступным марганцем, вполне способны вырасти только такие растения, как береза, привлекающая марганец своими кислыми корневыми выделениями.

Медь. Медь - это необходимый металл для нормального роста и развития растений, хотя он также потенциально токсичен. Медь участвует во многих физиологических процессах и является важным кофактором для многих металлопротеинов, однако возникают проблемы, когда в клетках присутствует медь.

Всего в почве содержится около 0,002% Cu, а на растворимую часть приходится около 1% Cu. Есть несколько форм меди, которая по-разному усваивается растениями [29]:

- а) медь, растворимая в воде
- б) обменная медь, которая поглощается органическими и минеральными коллоидами,
- в) труднорастворимые медные соли,
- г) минералы, содержащие медь
- д) комплексные металлоорганические соединения меди.

Объем растворимой в воде доступной меди устанавливает главным образом условия жизни растений в этой местности. Растения, содержащие в себе большое количество Cu обогащают названным элементом, причем отдельные виды получают константность даже к весьма значительным количествам данного металла [16].

Поясним значение меди. Так, она необходима для того, чтобы существовали растительные организмы.

Почти вся медь, которая содержится в листьях, находится в хлоропластах и связана с фотосинтезом. Кроме того, медь является участницей образования антоциана, железопорфирина и хлорофилла. Также благодаря меди нормализуется хлорофилл. Медь – это своеобразная защитница хлорофилла. Стоит также отметить, что медь способствует формированию железосодержащих ферментов, например, пероксидазы.

Согласно проведенным исследованиям, медь оказывает положительное влияние на формирование белков в растениях.

В том случае, если имеющегося количества меди не достаточно, то гидрофильность коллоидов тканей уменьшается.

Вероятнее всего, что в результате этого медь в форме удобрений играет важную роль для сообщения растениям засухо- и морозоустойчивости [9].

Заболевания нехватки меди у растений:

1) экзантема, или суховершинность плодовых деревьев. Отрицательно влияет на цитрусовые, а также яблони, груши, сливы и маслины. Листья цитрусовых приобретают больших размеров, молодые побеги гнуться, на них формируются вздутия, потом трещины. Пораженные побеги лишаются листьев и засыхают. Крона деревьев обретает кустовидную форму. На плодах появляются бурые пятна и бородавки. Листья обладают поначалу ярко-зеленым цветом, а потом возникает пятнистость и хлороз.

2) «Болезнь обработки» травянистых растений выражается в следующем: засыхают кончики листьев, процесс образования репродуктивных органов замедляется. Заразившись данной болезнью,

растения кустятся и, не переходя к стеблеванию, умирают.

Цинк. Цинк, один из основных микроэлементов и важная составляющая нескольких ферментов и белков, необходим только растениям в небольших количествах. Нормальный диапазон для цинка в растительной ткани составляет 15-60 частей на миллион, а в среде роста - 0,10-2,0 м.д. Дефицит цинка или токсичность не часто возникают; однако они отрицательно влияют на рост и качество сельскохозяйственных культур. Исследования показывают, что в почвах Zn насчитывается около 0,005%, из этого числа растворимый цинк содержится не менее 1%. Средние значения Zn в растениях составляет 0,0003%.

Цинк является составной частью ряда ферментных систем. Этот элемент необходим формирования дыхательных ферментов – цитохромов А и Б, цитохромоксидазы (активность которой очень сильно уменьшается при нехватке цинка), включается в состав ферментов алкогольдегидразы и глицилглициндипептидазы. Цинк соединен с превращением заключающих сульфгидрильную группу соединений, деятельность которых заключается в контроле уровня окислительно-восстановительного потенциала в клетках [14].

В результате воздействия Zn увеличивается количество аскорбиновой кислоты, каротина, углеводов у определенных растений. Благодаря цинку намного быстрее протекает процесс роста корневой системы. Влияние цинка помогает растениям пережить морозы, жару и засуху. Соединения цинка играют большую роль для процессов плодоношения. В местностях поблизости к цинковым залежам растет так именуемая галмейская флора, которая представляет собой растения, обогащенные цинком.

От болезни недостаточности цинка страдают в основном плодовые деревья. Однако заболеть данной болезнью могут хвойные растения и кукуруза. Назовем основные болезни недостаточности:

Мелколистность, или розеточная болезнь, листопадных деревьев. Поражает яблони, груши, сливу, персики, абрикос, миндаль, виноград,

вишню, вследствие чего на растениях вырастают слишком короткие побеги, на которых находится розетка мелких скрученных листьев. На листьях образуется хлороза. Плоды не вырастают большими, напротив, они маленькие и поврежденные. Бывает и такое, что плоды вообще не вырастают. Спустя 1-2 года побеги отмирают [2].

Пятнистость листьев цитрусовых, «крапчатость». Возле жилок листьев возникают желтые участки, по этой причине все листья становятся пятнистыми. Листья остаются зелеными только у основания, вся остальная часть листа – белая. Листья и корневая система вовсе не растут, растения умирают.

Бронзовость листьев тунговых. Какая-то часть листа становится бронзового цвета, бронзовую окраску, другая – отмирает. Те листья, которые появляются на смену умершим, вырастают поврежденными. Деревья, страдающие от данной болезни, не способны выдержать морозов.

Розеточная болезнь сосны. Кончики побегов хвои становятся бронзового цвета.

Побеление верхушки кукурузы. Между жилками листа образуются светло-желтые полосы, некротические пятна и отверстия. Заново вырастающие листья приобретают бледно-желтый цвет.

1.4 Биохимические особенности содержания тяжелых металлов у высших растений

Шпигулиным Л.К. [24] было проведено исследование объектом которого служил кресс-салат (клоповник посевной – *lepidiumsativum* L.).

Стоит отметить, что кресс-салат избирают в роли объекта, поскольку у него с достаточно большой скоростью растут побеги, он отличается высоким прорастанием семян и хорошей чувствительностью к различным токсикантам.

Растения взращивались в люменостате со стабильной температурой и длительностью светового дня. Растения различных групп (численностью 4080

растений каждая) росли на гидропонике, в которую добавляли соли металлов или их смеси в концентрациях, эквивалентных 50 ПДК (установленных для вод природных водоемов).

Эксперимент длился на протяжении пятнадцати дней. После его завершения некоторые растения проходили дальнейший анализ.

Концентрация белка определялась в соответствии с методом Брэдфорда [1].

Экстракция мембраносвязанных белков осуществлялась при помощи детергента Тритон X- 100 с разделением центрифугированием при 10000g. Экстракция фотосинтетических пигментов реализовывалась общеизвестным методом при помощи охлажденного 80% ацетона, концентрация определялась с использованием фотометрического метода на калориметре КФК-3 [6].

В ходе исследований, которые проводили учены, пришли к следующему выводу: тяжелые металлы, алюминий и их смеси воздействуют на содержание цитозольных белков в побегах растения, в чем можно убедиться, если посмотреть Таблицу 1.

Таблица 1. Содержание в побегах растений исследуемых групп, мг/г

Металл	Цитозольные белки	Мембраносвязанные белки	Каротиноиды
Cd	2,16 ±0,11	0,47 ±0,05	0,28 ±0,03
Pb	2,07 ±0,11	0,39 ±0,06	0,23 ±0,03
Al	0,73 ±0,08	0,38 ±0,04	0,12 ±0,03
Cd+Al	0,86 ±0,06	0,46 ±0,06	0,17 ±,003
Pb+Al	1,02 ±0,09	0,42 ±0,11	0,18 ±0,03
K	1,77 ±0,10	0,33 ±0,06	0,16 ±0,02

Проанализируем данные, представленные в Таблице 1. Растения, которые выращиваются в среде, состоящей из алюминия, содержание

водорастворимых белков меньше на 57% в сравнении с контрольной группой. У растений, которые выращиваются в среде, состоящей из смеси ионов Al+Cd и Al+Pb, можно отметить уменьшение количества белков, растворимых в воде на 51 и 45 %. Количество цитозольных белков в растениях, растущих в среде, содержащей ионы Cd и Pb, было больше по сравнению с контролем на 22 и 17 %.

Повышение содержания водорастворимых белков у растений, подлежащих влиянию Cd и Pb, скорее, связано с тем, что металлотионеины (белки, синтез которых индуцируется при попадании металлов в клетку [3,6,7]) связывают ионы кадмия, таким образом, при этом снижая уровень его токсичности.

Алюминий, скорее всего, не индуцирует синтез металлотионеинов, о чем говорится в научной литературе [8], но при этом имеет токсический эффект, уменьшая содержание цитозольных белков на 62%.

Сниженное содержание белков в процессе действия смеси тяжелых металлов с алюминием объясняется комплексом факторов – преградой в таких ситуациях являются разнообразные процессы из-за несхожей биологической роли этих металлов.

У растений, которых выращивали в среде с Cd и Pb, уровень мембраносвязанных белков значительно выше, нежели у контрольных растений на 37 и 26 %, при том, что алюминий никак не повлиял на данный показатель. У растений, которые были выращены в среде, содержащей смеси Al+Cd и Al+Pb, также можно отметить увеличение содержания цитозольных белков на 36 и 30 %. Полученные результаты можно объяснить разной природой функционирования данных металлов, при том, что главную роль играют именно Cd и Pb.

Стоит отметить, что существенных различий в содержании хлорофиллов группы а и b в растениях опытных групп от контроля не было найдено.

В таблице можно увидеть результаты проведенного исследования

содержания каротиноидов в растениях исследуемых групп. Так, мы выявили влияние ионов кадмия и свинца на содержание каротиноидов: растения группы Cd и Pb разнятся с контролем чрезмерно высоким содержанием каротиноидов, разница составляет 70 и 43 %.

Когда происходит ответная реакция для детоксикации ионов металлов, увеличивается содержание каротиноидов, безусловно, есть такие каротиноиды, которые выполняют разные защитные функции [2].

Отсюда следует, что содержание цитозольных и мембраносвязанных белков в побеге исследуемого объекта может пострадать от действия тяжелых металлов и алюминия в небольших концентрациях и длительной экспозиции. При этом действие алюминия имеет другой характер, чем кадмия и свинца.

Также исследователям было интересно сопоставить чувствительность содержания белков и фотосинтетических пигментов как показателей токсического действия металлов. В процессе такого исследования была определена чрезмерная предрасположенность действию тяжелых металлов рассмотренных белковых показателей, нежели пигментов (хлорофиллы a и b).

Выводы по 1 главе

Из всех существующих тяжелых металлов, кадмий, свинец, ртуть, цинк и медь являются самыми опасными металлами, что объясняется высоким уровнем их токсичности.

Из-за нарастающей тенденции поступления в окружающую среду тяжелых металлов, загрязняется почва, являющаяся главным источником поступления лишнего количества тяжелых металлов в растения.

Тяжелые металлы способны поступать в растения по разным путям, кроме того, каждый тяжелый металл обладает своим, отличным от других, механизмом аккумуляции.

Уровень тяжелых металлов, токсичный для разных видов и сортов растений, в значительной степени различается.

Культурные растения на начальном этапе формирования могут осуществлять процесс металлоаккумуляции, что нельзя сказать о дикорастущих растениях. Однако, стоит отметить, что этот процесс можно ослабить при помощи применения биологически активных веществ.

ГЛАВА 2. НАКОПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАСТИТЕЛЬНОМ ОРГАНИЗМЕ

2.1 Поступление тяжелых металлов в растения

Назовем важнейшие пути попадания тяжелых металлов в растения:

- апоплазматический;
- симплазматический.

Рассмотрим данные пути более подробно.

Апоплазматический путь проходит сквозь клеточные оболочки и межклетники. Данный процесс осуществляется по принципу диффузии и потока воды, в котором растворены тяжелые металлы.

Химические элементы, поступая в растения по этому пути, возрастают с увеличением их количества в почвенном растворе. При поступлении апоплазматическим путем ионы многих металлов преимущественно накапливаются в вегетативных частях растений [4].

При накоплении ионов металлов в репродуктивных органах растений свойственен симплазматический путь. Помимо поступления тяжелых металлов в растительные организмы через корни, можно назвать еще один путь – впитывание металлов через листовую поверхность. Имеющаяся в атмосфере растворенная пыль после интенсивного развития промышленности и автотранспорта, может проникать как прямо в устьица, так и диффундировать через покровные ткани листовой пластинки.

Попадание тяжелых металлов в растения происходит из-за высокого содержания различных факторов.

В роли важнейших факторов выступают свойства почв и скорость почвенных процессов, химические свойства металлов, состояние и трансформация их соединений, физиологические особенности растений [13].

Pb и Cd растения поглощают из двух видов источников: почвы и воздуха. Кадмий - тяжелый металл, представляющий значительный

экологический и профессиональный интерес. Он широко распространен в земной коре при средней концентрации около 0,1 мг / кг. Наибольший уровень соединений кадмия в окружающей среде накапливается в осадочных породах, а морские фосфаты содержат около 15 мг кадмия / кг [88].

Основные промышленные применения кадмия включают производство сплавов, пигментов и батарей [9]. Хотя использование кадмия в батареях показало значительный рост в последние годы, его коммерческое использование снизилось в развитых странах в ответ на экологические проблемы. Например, в Соединенных Штатах ежедневное потребление кадмия составляет около 0,4 мкг / кг / сут, что меньше половины устной контрольной дозы урана в США [9]. Это снижение было связано с введением строгих ограничений по стоку от работ по покрытию, а в последнее время - с введением общих ограничений на потребление кадмия в некоторых странах.

Существуют два механизма поступления ТМ в растения: метаболический (активный – процесс поглощения клеткой против градиента концентрации) и не метаболический (пассивный – перенос ионов с градиентом их концентрации).

А.Н. Нестерова говорила, что главный путь поступления Рb и Cd проходит в 2 этапа: транспорт по апо- и симпласту до эндодермы и в базальные участки корня. После этого они перемещаются в главный цилиндр по молодой эндодерме поясками Каспари, а также между проницаемыми мембранами протопласта в эндодерме.

Большим препятствием на пути поступления ТМ в надземные органы является корневая система растения.

Существуют механизмы, которые уменьшают концентрацию поступления ТМ в ризосфере. Из клеток корня вытекают слизи, с помощью которых металлы могут связываться в почве. Благодаря этим слизям лимитируется попадание металлов в растения.

Кроме этого, из растений в ризосферу попадает множество соединений, которые связывают ионы тяжелых металлов и осаждающих их на поверхности

корня [14]. Эти соединения называются органические кислоты, аминокислоты, фенолы, пептиды, ферменты (в частности, редуктазы). Благодаря этому, образуется некое препятствие для попадания свободных токсичных ионов в клетки корня растений.

Также необходимо обратить внимание на почвенные факторы, эти факторы проявляют воздействие на передвижение тяжелых металлов из почвы в растения.

Поясним, какие факторы имеются в виду: тип почвы, pH почвы, форма нахождения ТМ и ее гранулометрический состав, содержание органических веществ.

Обратимся к исследованию, проведенному Гуннарссоном. Так, при уменьшении pH почвы с 7 до 5.5 содержание Cd в тканях райграса увеличивалось в 4 раза. По большей части впитывание ионов ТМ растениями зависит от их доступного содержания в почве или почвенном растворе, например, в виде свободных ионов. На абсорбцию тяжелых металлов воздействуют видовые особенности растений. А также этапы образования. А также фазы формирования. Как показали опыты, активное поглощение металлов происходит на ранних стадиях онтогенеза, а что касается злаковых растений, то у них данный процесс наблюдается во время созревания семян. [10].

В соответствии с проведенными исследованиями, активная абсорбция металлов осуществляется на начальном этапе онтогенеза.

Существенное воздействие на растения оказывает также проникновение Pb и Cd из воздушных источников через листья.

Металлы способны менять местоположение в процессе поглощения листьями на другие органы и ткани, а также на корни.

Захваченные листьями металлы могут вымываться дождевой водой, так например, Pb легко удаляется с поверхности листа, потому что, присутствует в виде осадка, в отличие от Cd, который мало смывается и проникает в листья растений [30].

Доказано, что проще всего растения поглощают ионы Cd, Вг, Cs. Что касается Pb, то он с медленной скоростью поступает в растения и переходит в надземные органы.

В основном Pb, который поглощается корнями, аккумулируется в клеточных стенках, где он связывается полиуроновыми кислотами полисахаридов. В коре корня Pb преимущественно передвигается по апопласту, в стеле он распределяется внутриклеточно. Существует два вида транспорта Pb и Cd из корней в надземные органы: по флоэме и ксилеме. На ранних стадиях роль энтодермы корня растения развита слабо, поэтому Pb проникает в ксилему и уже оттуда в надземные части [29].

Поглощение Pb растениями происходит через листья из переносимого воздуха. Но он достаточно тяжело входит в лист и практически не передвигается в нем, поскольку его преградами являются эпидермис и особенно кутикула и, наоборот, во время увеличенной концентрации металла, способен попадать до середины имеющегося в атмосфере Pb.

М.М. Калива, а также группа коллег, исследовали закономерности транслокации цинка и свинца в системе почва - растение.

Чтобы этот эксперимент был достоверным, исследователи провели, в 2007 году, мелкоделяночный полевой опыт, т.е. это опыт, который проводят на маленьких делянках, с большим числом повторений, и они основывались на результаты этого исследования.

Они исследовали территорию, где почвой был чернозем обыкновенный мощный слабогумусированный на лессовидных суглинках, эта почва обладала следующими критериями: $pH_{\text{водн.}} - 7,5$; содержание частиц $< 0,01 \text{ мм} - 58 \%$; $CaCO_3 - 0,15 \%$; $C_{\text{орг}} - 2,2 \%$; обменных катионов $Ca^{2+} + Mg^{2+} - 34,5 \text{ мг-экв./100 г}$; NO_3 , $P_2O_{5\text{подв}}$, $K_2O_{\text{обм}}$ в мг/100 г - 0,9; 6,0 и 6,4 соответственно. Методы определения в соответствии с общепринятыми методиками.

Почва обладала достаточным количеством фосфора, а уровень обменного калия – повышенный [2].

Для реализации исследования ученые избрали такие поллютанты, какие

больше попадают в Российской Федерации, а это цинк (Zn) и свинец (Pb).

Тяжелые металлы включались по отдельности в виде легкорастворимых ацетатных солей с осени в сухом виде в пахотный горизонт (0-20 см) и скрупулезно перемешивались с почвой.

Дозы внесения металлов в почву (цинка – 300 мг/кг, свинца – 96 мг/кг) соответствует 3 предельно возможным концентрациям (ПДК) по валовым формам (ПДК Zn– 100 мг/кг, ПДК Pb– 32 мг/кг и 13 и 16 ПДК по подвижным формам данных металлов соответственно. Дозы внесения металлов соотнесены с имеющимся уровнем загрязнения ими почв Ростовской области [3]. Опыт был сделан в трехкратном размере.

Было проведено исследование монокультуры, им являлся яровой ячмень (*Hordeum sativum* distichum) сорта Одесский 100. Для того чтобы добавленные в почву соли ТМ прошли трансформацию, между их внесением и посевом ячменя был выдержан период 8 месяцев.

Следует учесть, что агротехника возделывания культуры считается зональной. Что касается закладки опытов, наблюдений и учетов, проведение растительных проб, то они осуществляются с учетом методик полевого опыта на базе государственного сортоиспытательного участка (ГСУ) «Ростовский». Образцы растений направлялись в фазу полной спелости ярового ячменя.

Общее содержание ТМ в почве определяли рентген-флуоресцентным методом.

Рентгеновская флуоресценция (XRF) представляет собой аналитический метод определения элементного состава различных материалов. В почвах XRF имеет множество почвообразующих, экологических и агрономических применений, главным образом после появления портативного оборудования (pXRF). Этот метод был недавно принят и успешно используется для описания почв во всем мире, но очень редкие работы были проведены в почвах развивающихся стран. Характеристика почвы включает в себя полное определение элементного состава (питательные вещества, следы и редкоземельные элементы) и позволяет оценить некоторые физические и

химические свойства почвы.

Концентрацию подвижных (обменных) соединений металлов в почве определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (ААС).

Атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС) представляет собой метод измерения количества химических веществ элементов, присутствующих в образцах окружающей среды.

Для их экстракции было взято 1Н аммонийно-ацетатный буфер ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) – ААБ, рН 4,8 (при соотношении почва: раствор 1:5, время экстракции 18 часов), характеризующий актуальный запас элементов в почве [2]. Тяжелые металлы в растениях определены методом мокрого озоления в смеси кислот $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$ [5] с последующим определением на ААС.

На изученных территориях, значение цинка в грунте за последние 3 года, составляет 67 мг/кг (таблица 2). Эти исследования были проведены для достоверности опыта.

Таблица 2. Содержание ТМ в черноземе обыкновенном

Варианты опыта	Общее содержание			Подвижные соединения		
	Действие	Последействия 1 года	Последействия 2 года	Действие	Последействия 1 года	Последействия 2 года
Zn						
Контроль	68,4	65,3	67,1	0,6	0,6	0,6
Металл	355,9	348,7	352,0	33,0	27,6	26,1
НСР ₀₅	11,4	14,9	24,1	5,2	3,8	2,5
Pb						
Контроль	24,1	23,5	27,5	0,8	0,9	1,0
Металл	109,6	101,3	100,4	12,8	10,8	8,7
НСР ₀₅	8,6	2,5	9,9	3,6	3,0	2,1

Количество подвижных форм $\text{Zn} = 0,6$ мг/кг, что составляет 0,89% от всего количества. Такие концентрации цинка ($< 1,0$ мг/кг) говорят о невысокой обеспеченности растения Zn . Данное явление характеризуется тем, что в карбонатных почвах со слабощелочной реакцией среды нет

возможности для накопления подвижных форм ТМ из-за образования недоступных для растений соединений. На карбонатных черноземах отмечается очень низкая обеспеченность цинком [6].

Исходя из этого, можно сказать, что создаются условия экологической опасности, т.к. в природных ландшафтах наблюдается нехватка отдельных компонентов.

Доказано, что содержание Zn в зерне ячменя на контроле составляет от 21,6 до 24,8 мг/кг, что отвечает их фоновому содержанию [7-9].

Если растения растут на почве, которая богата цинком, то наблюдается, что в корневых частях больше Zn, чем надземных.

Если почва будет обогащена цинком, то он сможет передвигаться из корней в верхушки растений [11].

В момент опыта концентрация Zn в корнях ярового ячменя была ниже, чем концентрация Zn в зерне (таблица 3), то есть и корни не обладали барьерной функцией в отношении этого элемента. Такое распределение Zn в ячмене, по-видимому, связано с недостатком его подвижных форм в карбонатном черноземе.

Таблица 3. Содержание ТМ в различных органах растений ярового ячменя в течение трех лет после загрязнения почвы, мг/кг

Варианты	Действие			Последействие 1			Последействие 2		
Опыта	зерно	стебли	корни	зерно	стебли	корни	зерно	стебли	корни
Zn									
Контроль	23,0	17,5	19,9	24,2	18,1	20,6	22,7	17,9	19,5
Металл	65,4	73,4	204	58,7	67,4	185,7	51,2	58,0	160,2
НСР ₀₅	4,0	5,6	8,4	4,4	4,4	12,8	3,7	9,8	11,0
Pb									
Контроль	0,3	1,4	4,4	0,2	1,1	3,2	0,3	1,3	4,5
Металл	2,5	8,8	19,1	1,7	5,9	17,6	0,9	3,0	11,9
НСР ₀₅	0,4	1,5	2,4	0,4	0,9	4,4	н/о	1,3	5,1

Общее содержание Рb в черноземе обыкновенном на незагрязненном черноземе составляет 25,0 мг/кг (таблица 2). Количество подвижных форм Рb на контроле больше, чем Zn и равно 0,9 мг/кг (3,6 % от общего содержания).

Количество Рb в зерне значительно отличается от содержания в других органах растения в пределах от 0,2 до 0,3 мг/кг (таблица 3) [12, 13].

Наблюдается, что больше всего Рb находится в корневых системах, это свидетельствует о том, что имеются защитные барьеры именно они тормозят процесс накопления в генеративных частях. Большое аккумуляирование металла в корнях можно объяснить тем, что в процессе вхождения в плазму происходит инактивация и депонирование больших его количеств, вследствие формирования малоподвижных соединений с органическим веществом. Поглощенный корнями Рb располагается в незанятом клеточном пространстве, кроме того, он может быть использован в процессах метаболизма. Только какая-то часть Рb с ксилемным током мигрирует в надземные органы [14, 15].

Таким образом, распределение ТМ по органам ярового ячменя на незагрязненном черноземе следующее: для цинка - *зерно > корни > стебли*; для свинца - *корни > стебли > зерно*. Причем, различия в накоплении Рb исследуемыми органами растений выражены сильнее, чем по Zn.

Загрязнение чернозема обыкновенного ТМ привело к накоплению их в растениях. Содержание Zn и Рb в зерне превышает ПДК (ПДК для Zn– 50 мг/кг, для Рb – 0,5 мг/кг) [16]. Причем, концентрация Рb в 5 раз выше критической. Как показывают данные таблицы 1, превышение ПДК по подвижным формам Рb также больше, чем по Zn.

В процессе моделирования загрязнения чернозема цинком определен акропетальный характер аккумуляирования элемента в растениях ярового ячменя: *корни > стебли > зерно*. Изменилась концентрация Zn, она увеличилась в 8-10 раз в корнях ячменя, по сравнению с контролем. Отсюда следует, что зерно: стебли: корни на контроле составляет 1:1:1; при загрязнении - 1:1:3.

Поэтому важнейшая барьерная функция по уменьшению количества поступления цинка в растениях отводится корням. В том случае, если металл попадает в корни растений, то растение претерпевает хелатирование, из-за чего оно становится практически неподвижным. Считается, что охранную роль в корнях исполняют клетки пояса Каспари, которые образуют некую преграду движению вещества по межклеточному пространству и лимитирует его переход в проводящие ткани [17, 18].

Рассчитана высота барьера на границе корень - стебель и стебель - зерно для ярового ячменя. Высоту можно рассчитать отношением содержания тяжелых металлов в стебле к его концентрации в зерне и числу элемента в корнях. Для Zn на контроле высота барьера корень - стебель составляет 1,1, стебель - зерно - 0,8; при загрязнении высота барьера увеличивается до 2,8 и 1,1 соответственно.

В загрязненной почве происходит аналогичное изменение Pb в органах ячменя с контролем: больше всего поллютанта находится в корнях, далее - в стеблях, и меньше - в зерне. Соотношение зерно: стебли: корни на контроле равно 1:5:15, при загрязнении – 1:4:8. То есть, если увеличивается содержание Pb в почве, то соотношение приходит в равновесие, металл по большей части аккумулируется в зерне и в стеблях.

Высота барьеров при этом снижается до 2,2 на границе *корень - стебель* и до 3,5 на границе *стебель - зерно* против 3,1 и 4,7 соответственно на контроле.

На основе вышесказанного можно сделать вывод, что природа и концентрация металлов в почве оказывают существенное влияние на их распределение по органам ярового ячменя:

Zn: контроль – зерно > корни > стебли; загрязнение – корни > стебли > зерно;

Pb: контроль и загрязнение – корни > стебли > зерно.

Различия в содержании цинка и свинца по органам ячменя объясняются физиологической ролью их в живом организме. Цинк (Zn) является одним из

восьми основных микроэлементов. Он необходим растениям в небольших количествах, но все же важно для развития растений.

В растениях цинк является ключевым компонентом многих ферментов и белков. Он играет важную роль в широком спектре процессов, таких как рост гормона роста и удлинение междоузлия.

В случае с Zn, внесенная доза оказалась не такой токсичной для растений ярового ячменя, во многом благодаря действию защитных механизмов на границе корень – стебель, стебель – зерно. Подтверждением этому служат менее существенное уменьшение основных морфометрических и качественных характеристик растений под влиянием цинка по сравнению со свинцом [19]. Определенную роль имеет и различная степень увеличения их подвижных форм при загрязнении почвы.

Благодаря проведенному анализу, связанным с аккумулярованием Pb, мы смогли понять, что способ его поглощения является пассивным. [1]. Несмотря на то, что данное вещество достаточно трудно растворяется в почве, оно поглощается корневыми волосками и фиксируется в стенках клеток. На незагрязненной почве перемещение Pb из корней в надземную часть весьма ограничено.

Основной процесс, с которым связано аккумулярование Pb в тканях корней – отложение на стенках клеток в форме кристаллов нерастворимых фосфатных комплексов. Большое количество металла выходит из корневой системы в стебли. А концентрация свинца в корнях повышается из-за формирования нерастворимых комплексов, из-за аккумулярования их в клетках [22].

С помощью лимитирования поступления тяжелых металлов можно определить устойчивость. Это значит, что уменьшается концентрация металла там, где наблюдается активные процессы биосинтеза.

Несмотря на относительно небольшую дозу внесения ТМ, наблюдается стойкое загрязнение ими растительной продукции. Количество Zn и Pb в генеративных органах ячменя превышало ПДК в течение трех лет с момента

загрязнения (таблица 3).

Со временем наблюдаются различия в накоплении элементов. В результате этого в 1-й год уменьшается значения Zn примерно на 9%, а на второй год это значение увеличивается примерно в два раза 21-22% (таблица 3). Соотношение зерно: стебли: корни остается неизменным.

Транслокация Pb в последующие годы выражена значительно слабее. За второй и третий год концентрация Pb в зерне и стеблях сокращается на 33 % и 65 %, а концентрация в корнях поменялась несущественно. Следовательно, доля корней в накоплении металла постепенно возрастает и, следовательно, расширяется соотношение зерно: стебли: корни до 1:3:13.

Это происходит из-за того, что когда Pb содержится в питательных растворах в растворимой форме, корни растений могут впитывать его в большом объеме, при этом скорость этого впитывания увеличивается параллельно с ростом концентрации и со временем.

Стоит отметить, что коэффициент биологического поглощения (КБП) – это показатель уровня аккумуляирования элементов растениями. Поясним, как вычисляется данный коэффициент. КБП – это отношение содержания элемента в золе растений к валовому содержанию его в почве.

Благодаря КБП можно определить степень доступности элемента для растений и его действий в системе «почва - растение».

Как показала практика, на контрольных вариантах все органы растений применяли соединения тяжелых металлов более полно, о чем свидетельствуют данные, представленные в Таблице 4. В большей мере это свойственно Zn, являющейся эссенциальным микроэлементом. Согласно величине КБП принадлежит группе элементов сильного аккумуляирования, а что касается Pb, то он относится к группе элементов очень слабого захвата.

Таблица 4. Коэффициенты биологического поглощения (КБП) и накопления (Кн) Zn и Pb органами растений ярового ячменя

Варианты опыта	Zn						Pb					
	Действие		После действия 1 года		После действия 2 года		Действие		После действия 1 года		После действия 2 года	
	зерно	стебли	зерно	стебли	зерно	стебли	зерно	стебли	зерно	стебли	зерно	стебли
КБП												
Кон	0,34	0,26	0,37	0,28	0,34	0,27	0,01	0,06	0,01	0,05	0,01	0,05
Металл	0,18	0,21	0,17	0,19	0,15	0,16	0,02	0,08	0,02	0,06	0,01	0,03
Кн												
Кон	38,33	29,17	40,33	30,17	37,83	29,83	0,38	1,75	0,22	1,22	0,30	1,30
Металл	1,98	2,22	2,13	2,44	1,96	2,22	0,20	0,69	0,15	0,55	0,08	0,29

Стоит отметить, что данные 2 элемента различаются друг от друга: когда загрязняется почва, Zn КБП – уменьшается, а Pb – уменьшается. Те закономерности, которые были выявлены, не меняются и в будущем. По-моему мнение, данное явление происходит из-за биохимического действия металлов в растениях и методов их поглощения и переноса. Мы получили после исследования, что для Zn при концентрациях его в почве 250 мг/кг метаболический перенос, он впитывается против градиента концентрации [20], так как в ходе эволюции у растений имеются особые защитные механизмы для снижения поступления излишних количеств данного элемента в генеративные органы. При увеличенном уровне концентрации Pb в почве (выше 100 мг/кг) наблюдается по большей части пассивный перенос.

Анализируя размер КБП, мы пришли к выводу, что аккумулируется в вегетативных органах большое количество поллютанта.

Благодаря сведениям, полученным вследствие корреляционного анализа, мы выяснили, что эти сведения демонстрируют умеренную связь между общим содержанием металлов в почве и в растениях (варьируется от

0,45 до 0,56). Связь между подвижными формами соединений Zn и Pb в почве и их содержанием в зерне и стеблях ярового ячменя во все годы исследования была сильной (коэффициент корреляции – 0,83-0,96).

Поэтому самым эффективным критерием оценки уровня качества металлов, которые переходят из почвы в растения, - коэффициент накопления (Кн). Данный коэффициент можно вычислить как отношение содержания элемента в золе растений к содержанию его подвижных форм в почве, так как именно они доступны растениям.

Стоит отметить, что высокие значения Кн и КБП свойственны для растений, которые росли на чистой, незагрязненной почве, что можно увидеть в Таблице 2.

Распределение и накопление тяжелых металлов в почве и различных растениях было исследовано в местах одного из крупнейших месторождений меди в Китае. Концентрации кадмия, меди, свинца и цинка определяли индуктивно-связанной плазменно-масс-спектрометрией (ICP-MS), и результаты показывают, что почва была загрязнена горнодобывающей деятельностью. Растения, растущие вокруг исследуемой области, накапливали эти металлы в различных концентрациях. Концентрации металлов в растениях показали, что уровни накопления не согласуются с относительными концентрациями в соответствующих почвах. Почти все растения в основном накапливали тяжелые металлы в надземных тканях, особенно *Commelina communis*.

В процессе загрязнения почвы было выяснено, что существенное уменьшение Кн для обоих металлов связано с защитной реакцией растений на избыток элементов в почве. Самое существенное снижение Кн свойственно Zn. Отсюда следует, что оценивание тенденций аккумуляирования разнообразных поллютантов в растениях, которые были получены с учетом показателей КБП и Кн неоднозначна.

К примеру, при заключении Pb КПБ увеличивается, а Кн, напротив, уменьшается. Это происходит из-за того, что растения способны применять не

только обменные формы элементы (экстракция 1Н ААБ), но и иные подвижные формы, содержание которых повышается, если увеличивается загрязнение. В процессе внедрения Рb в почву происходит аккумулятирование комплексных форм, например, экстракции ЭТТА, в группе подвижных соединений [21].

На основе вышесказанного можно заключить, что в процессе вычисления Кн следует применять содержание всей группы подвижных соединений, в состав которых входят обменные, комплексные и специфически сорбированные формы (экстракция 1Н НСl за минусом количества ТМ, извлекаемых ААБ).

Важнейший показатель аккумулятирования элементов растениями – размер биологического выноса тяжелых металлов с урожаем растений. Объем биологического выноса с побочной продукцией можно определить по величине урожая, содержанию металлов в растениях, а также по биологическим свойствам выращенных культур.

Вынос Zn с урожаем ячменя, составляющий 33,9 ц/га, примерно за 3 года составил на контроле – 170,3 г/га. На вариантах загрязнения примерно за 3 года произошло существенное повышение выноса тяжелых металлов растениями ячменя - до 634,2 г/га в действии и 743,2 - 670 г/га в последствии.

Растения ярового ячменя выносят Zn на контроле примерно за 3 года – 0,11 % от валового содержания его в почве. В процессе загрязнения яровой ячмень выносит Zn в действии (примерно за 3 года) – 0,081 % от валового содержания его в почве, после - 0,095 %.

Вынос Рb с урожаем ячменя (зерно + солома) был равен на контроле – 9,3 г/га. Небольшой объем его выноса в сравнении с Zn обусловлен тем, что в соответствии с КБП Рb принадлежит группе элементов очень слабого захвата.

В процессе загрязнения вынос Рb в значительной степени повысился - до 53,6 г/га в действии и 43,1-36,1 г/га в последствии. Важно отметить, что самое большое увеличение подвижности Рb в почве в сравнении с Zn при

внедрении их в почву по большей части повысило его вынос с урожаем ярового ячменя.

Растения ярового ячменя осуществляют выброс Pb на контроле примерно за 3 года – 0,18 % от валового содержания в почве. В процессе загрязнения яровой ячмень осуществляет вынос Pb в действии (примерно за 3 года) - 0,022 % от валового содержания в почве, после – 0,018 %. Это происходит из-за того, что с учетом коэффициента биологического поглощения Pb принадлежит группе элементов очень слабого захвата.

Отсюда следует, что из-за загрязнения Zn и Pb увеличивается содержание металлов абсолютно во всех частях ячменя. Кроме того, биологический вынос тяжелых металлов с урожаем ярового ячменя также повышается. Воздействие Pb на уровень качества ячменя выражается сильнее (превышение ПДК Pb в 5 раз, Zn – в 1,3 раза). В дальнейшем транслокация Zn и Pb в растения уменьшается.

Также происходит устойчивое загрязнение ими растений на протяжении 3-х лет после загрязнения. Важнейшую барьерную функцию по инактивации изучаемых тяжелых металлов исполняют корни растений. Из-за внедрения тяжелых металлов увеличилось их число в корнях ячменя: Pb – в 4 раза, Zn – в 9 раз.

Резюмируя вышесказанное, мы можем сказать, что ячмень более устойчив к загрязнению Zn, чем к загрязнению Pb.

Рассчитывать коэффициент аккумуляирования тяжелых металлов следует в соответствии со всеми группами подвижных соединений тяжелых металлов в почве.

2.2 Транслокация и накопление тяжелых металлов в растениях

Рассмотрим на проведенном исследовании Кожевникова [10]. Содержание таких тяжелых металлов, как Cd, Cu, Mn, Fe, Pb и Zn выявлялось при помощи использования атомно-абсорбционного метода в

ацетилено-воздушном пламени на спектрофотометре Spectr AA140 – фирмы Varian (Австралия) в соответствии с методическими рекомендациями [3]. Валовое содержание тяжелых металлов в почве и их мобильность по вертикальному профилю мы высчитывали путем отношения концентрации анализируемых загрязнителей в растениях к их концентрации в почве [4]. Количественные значения мы сопоставляли с ОДК. В том случае, если нет ОДК, то количественные значения сопоставлялись с кларком почвы (по А. П. Виноградову) [2].

Кроме того, был рассчитан коэффициент накопления тяжелых металлов в корневой и вегетативной части корнеплода свеклы *Beta vulgaris*. Данный коэффициент был получен отношением концентрации элементов в растениях к их концентрации в почве [5].

С помощью сделанного опыта почвенных проб, взятых 2-х горизонтов (0-20 и 20-40 см), мы обнаружили, что движение тяжелых металлов по вертикальному профилю демонстрирует индивидуальную возможность разных элементов перемещаться.

Почвенный покров опытного участка был представлен каштановым типом почв с выделением подтипа темно-каштановых почв.

Темно-каштановые слабощелочные тяжелосуглинистые почвы имеют значительное распространение по всей территории участка. По механическому составу данные почвы относятся к иловатопылеватым средним и тяжелым суглинкам. Распределение илистых и глинистых фракций по профилю равномерное, что благоприятно сказывается на водно-физических свойствах почв.

Данные почвы содержат гумуса на глубине 0-20 см 3,62 % и на глубине 20-40 см – 2,85 %. Реакция почвенной среды слабощелочная ($pH = 7,45-8,00$). Темно-каштановые слабощелочные тяжелосуглинистые почвы относятся к лучшим землям ЗКО (IV оценочный класс) и пригодные для возделывания всех сельскохозяйственных культур.

Как показала практика, кадмий и свинец находятся в верхних границах

почвы (0-20 см). При антропогенном загрязнении более 60 % иеталл закрепляется в верхнем почвенном горизонте, и только лишь незначительная доля (3-4 %) в виде хелата движется на глубину до 40 см. В поверхностном распределении свинца на территории опытного участка станции можно отметить зависимость воздействия передвижных источников загрязнения на уровень концентрации металла (0-20 см – 30,16 мг/кг, 20-40 см – 22,47 мг/кг).

Средний показатель содержания свинца в почве - не выше ОДК (32-130 мг/кг), что доказывают данные, представленные в Таблице 5,6. Кадмий в почве – это практически неподвижный элемент. Необходимо учитывать, что концентрация кадмия в грунте невысокая, она составляет 0, 67 мг/кг. Этот коэффициент никак не превышает значения естественного баланса, его возможно рассматривать как возможный критерий гигиенического нормирования.

Таблица 5. Распределение тяжелых металлов в почве опытного участка

Точки отбора проб	Слои почвы, см	Fe	Zn	Mn	Pb	Cd	Cu
		мг/кг					
1	0-20	205,76	50,52	149,56	30,16	0,507	77,66
	20-40	198,25	49,63	132,91	22,47	0,565	79,77
2	0-20	164,89	33,92	178,29	8,40	0,834	59,68
	20-40	152,69	42,17	149,32	12,35	0,903	52,68
3	0-20	271,18	52,54	139,64	9,04	1,125	92,40
	20-40	132,80	29,34	124,44	8,01	0,091	60,42
4	0-20	174,74	34,08	139,67	7,33	0,089	82,48
	20-40	275,34	42,82	126,89	8,33	0,236	95,13
ОДК		-	55-220	-	32-130	0,5-2	33-132

В нижележащем почвенном горизонте содержание кадмия доподлинно уменьшается на 0,41 мг/кг. В щелочных почвенных растворах наблюдается активное перемещение цинка и меди. Необходимо учитывать, что содержание меди в верхнем слое почвы ($79,77 \pm 0,03$ мг/кг) намного выше содержание

меди в нижнем слое почвы ($77,66 \pm 0,01$ мг/кг), почти в каждом анализируемом парном (верх-низ) образце. Показатели варьируются в высоких пределах (от 52,68 до 95,13 мг/кг), при этом не выходят за пределы средних значений и не превосходит ОДК. Подобное наблюдается и с цинком. Так, в верхнем слое он содержится в большем количестве ($50,52 \pm 0,03$ мг/кг), нежели в нижнем ($49,63 \pm 0,01$ мг/кг).

Нужно принять во внимание, что железо и марганец имеют способность накапливаться в грунте из-за особенностей почвообразования, вызванных чрезмерным содержанием данных металлов в межпластовых грунтах и поверхностном почвенном горизонте. Разброс значений по марганцу и железу отмечен в широких пределах с максимальными показателями до 275,34 и 178,29 мг/кг соответственно.

Железо и марганец активны в слабощелочной среде, но их мобильность можно признать как умеренную.

Подобным способом, из проделанного, вытекает такой вывод: что скопление металлов находится в участках допустимых значений ОДК и никак не превышает уровень природного баланса, а их мобильность по вертикальному почвенному профилю обуславливается особенностью химических свойств элементов.

Большое количество исследуемых металлов располагается в почве умеренном состоянии, по этой причине нелегко определить уровень техногенной нагрузки на почвы лишь по количественным значениям наличия тяжелых металлов.

Ранее нами было изучено распределение тяжелых металлов на примере земляники садовой *Fragaria ananassa*, где результаты анализа показали что коммулятивная способность ТМ зависит от свойств почвы и биологии растения [6].

Известно, что поглощение и распределение ТМ по органам растения, зависит от физиологических, биохимических особенностей. С целью изучения особенностей аккумуляции тяжелых металлов нами был проведен

химический анализ накопления ТМ в различных частях и зонах корнеплода столовой свеклы *Beta vulgaris* (рисунок 5), выращенных на опытном участке. Для более детального анализа особенностей распределения ТМ было предложено деление по определенным зонам растения.



Рис. 6 Зоны и части растения корнеплода свеклы столовой *Beta vulgaris*

Благодаря элементарному анализу свеклы, нам удалось определить особенности накопления тяжелых металлов. Данные особенности представлены в Таблице 6.

Так, медь в корнеплодах свеклы столовой *Beta vulgaris* представлена в небольшом количестве (0,268-0,925 мг/кг).

Чрезмерное количество цинка в растениях появляется в местах, страдающих от промышленного загрязнения почв, а также при неверном использовании цинкосодержащих удобрений.

*Таблица 6. Распределение тяжелых металлов по частям корнеплода свеклы
столовой Beta vulgaris (начало)*

Зона растения	Части расте- ния	ПДК Cd	Образец, Cd	ПДКСu	Образец Cu	ПДК Mn	Образец Mn
		Мг/кг					
Надземная зона	Листья	-	0,472	-	0,268	-	9,87
	Стебель	-	0,607	-	0,641	-	8,10
Верхняя зона корнеплода	Кожура	0,10-0,20	0,506	10,0-12,0	0,641	10,0	8,21
	Мякоть	0,10-0,27	0,380	12,0-20,0	0,735	13,3	10,38
	Сердцевина	0,08-0,10	0,218	10,0-12,0	0,706	8,0-	6,97
Средняя зона корнеплода	Кожура	0,14-0,20	0,292	8,0-10,0	0,844	10,0	6,78
	Мякоть	0,14-0,27	0,149	8,0-20,0	0,907	13,3	8,98
	Сердцевина	0,08-0,14	0,022	8,0-10,0	0,803	8,0	2,42
Нижняя зона корнеплода	Кожура	0,20-0,30	0,124	10,0	0,784	10,0	6,86
	Мякоть	0,27-0,30	0,208	10,0-20,0	0,925	13,3	4,43
	Сердцевина	0,08-0,30	0,091	10,0	0,329	8,0	2,76

*Таблица 7 . Распределение тяжелых металлов по частям корнеплода свеклы
столовой Beta vulgaris (продолжение)*

Зона растения	Части растения	ПДК Pb	Образец Pb	ПДК Zn	Образец Zn	ПДК Fe	Образец Fe
Надземная зона	Листья	-	1,161	-	90,36	-	55,51
	Стебель	-	1,673	-	59,68	-	45,19
Верхняя зона корнеплода	Кожура	0,8	0,574	42,0-85,0	63,19	70,0-84,0	14,96
	Мякоть	-	0,702	42,0-83,3	31,08	84,0	9,27
	Сердцевина	-	0,607	42,0-51,0	52,1	44,0-84,0	4,81
Средняя зона корнеплода	Кожура	1,2	0,995	51,0-85,0	21,50	52,0-70,0	13,95
	Мякоть	-	1,336	51,0-83,3	22,89	52,0	4,92
	Сердцевина	-	0,899	51,0	12,38	44,0-52,0	6,94

Продолжение таблицы 7

Нижняя зона корне- плода	Кожура	2,2	0,445	60,0-85,0	62,34	44,0	29,22
	Мякоть	-	1,620	60,0-83,3	54,97	44,0	6,69
	Сердцевина	-	1,548	51,0-60,0	45,28	44,0	6,30

Однако если данный металл будет в больших количества присутствовать в почвах, то возникнет хлороз молодых листьев. При чрезмерном проникновении металла в растения и появляющимся при этом антагонизме с иными элементами ухудшится качество усвоения меди и железа. Также будут наблюдаться симптомы недостаточности меди и железа.

Наилучшими концентраторами цинка являются листья, стебель и кожура корнеплода свеклы столовой *Beta vulgaris* (90,36 мг/кг, 59,68 мг/кг и 63,19 мг/кг).

Необходимо учитывать, что кадмий – это кумулятивный яд. Поэтому он является токсичным для растений и животных. Что касается высших растений, то на каком уровне находится кадмий точно неизвестно, данный вопрос будет актуальным и в дальнейших исследованиях. Поясним, в чем заключается токсичность кадмия для растений: нарушается активность ферментов, замедляется фотосинтез, нарушается транспирация, кроме того, происходит ингибирование восстановления NO_2 до NO . Стоит также отметить, что в метаболизме растений кадмий – противник таких элементов питания, как Zn, Cu, Mn, Ni, Se, Ca, Mg, P.

Если металл будет оказывать токсичное влияние на растений, то у последних будет замедляться рост, повредится корневая система, возникнет хлороз листьев. Кадмий без особого труда переходит из почвы и атмосферы в растения.

Перейдем к рассмотрению свинца. Итак, свинец как элемент в незначительных количествах определен в исследуемых культурах. В малых

дозах свинец нужен растениям. Нехватка свинца в растениях возможна, если он будет содержаться в надземной части от 2 до 6 мкг/кг сухого вещества [7].

В корнеплоде свеклы свинец находится в небольших количествах, примерно 1 мг/кг.

Уточним, что концентрация металла, превышающая 10 мг/кг сухого вещества, - токсична для большого количества культурных растений. Если сравнить уровень содержания тяжелых металлов в, то можно прийти к следующему: коэффициенты накопления меди, железа и кобальта находятся в нормальной концентрации, что касается цинка, то для него свойственны максимальные показатели. Поскольку этот металл существует в почве в подвижном состоянии, а также является самым доступным корнеплодом свеклы столовой *Beta vulgaris*.

На основе вышесказанного мы заключили, что оценивать уровень экологической нагрузки цинка на исследуемую территорию по коэффициенту его накопления представителями данных культур нельзя.

Отталкиваясь из проделанного изучения, доля пересмотренных ядовитых металлов, а конкретно Cd и Pb, с проявленным антропогенным характером возникновения относится к слабоподвижным элементам, именно поэтому она практически недоступна для корней

При этом коэффициент накопления названных металлов представителями рассмотренных культур выше отметки с единичными значениями, благодаря чему можно сделать вывод о безусловной полезности биоиндикаторной роли растений лишь для токсичных элементов. Подобным способом определено то, что части корнеплода свеклы столовой *Beta vulgaris*, а именно кожура нижней и верхней зоны растения являются хорошими концентраторами цинка, а сердцевина и мякоть нижней зоны корнеплода свеклы столовой *Beta vulgaris* в наибольшей степени накапливают свинец.

Доказательством этому является присутствие видовой специфичности растений к избирательному аккумулярованию микроэлементов.

Выводы по 2 главе

Резюмируя вышесказанное, можно отметить, что все рассмотренные металлы, кроме Sr и Zn, не могут проходить сквозь плазмалемму клеток обкладки пучка и проникать в мезофилл. Именно благодаря этой особенности вызвано проникновение Cd, Pb и Ni в клетки эпидермы листа.

Накопление Ni в эпидермальных клетках гипераккумуляторов обладает приспособительным значением.

Тяжелые металлы нарушают метаболические функции двумя способами:

Они накапливаются и тем самым нарушают функцию в жизненно важных органах и железах, таких как сердце, мозг, почки, кость, печень и т. Д.

Они вытесняют жизненно важные питательные минералы из своего первоначального места, препятствуют их биологической функции. Тем не менее, невозможно жить в условиях, свободных от тяжелых металлов. Существует много способов, которыми эти токсины можно вводить в организм, таких как потребление продуктов питания, напитков, воздействия на кожу и вдыхаемого воздуха [1].

Растения испытывают окислительный стресс при воздействии тяжелых металлов, что приводит к клеточному повреждению и нарушению клеточного ионного гомеостаза. Чтобы свести к минимуму пагубные последствия воздействия тяжелых металлов и их накопления, растения развили механизмы детоксикации, в основном основанные на хелатировании и субклеточной компартментализации. Основным классом хелатообразователя тяжелых металлов, известных в растениях, являются фитохелатины, синтезируемые безредукционно из восстановленного глутатиона в реакции транспептидирования, катализируемой ферментом фитохелатинсинтазы. Поэтому наличие глутатиона очень важно для синтеза ПК в растениях, по крайней мере, во время их воздействия на тяжелые металлы [12].

Концентрация металлов в почве обычно колеблется от менее одного до 100 000 мг / кг [7]. Тяжелые металлы являются основной группой неорганических загрязнителей и значительной большой площади загрязненной ими земли из-за использования осадка или муниципального компоста, пестицидов, удобрений и выбросов из муниципальных отходов, сжигающих, высыхающих, остатков из металлургических рудников и плавильных производств [14]. Независимо от происхождения металлов в почве, чрезмерные уровни многих металлов могут привести к ухудшению качества почвы, снижению урожайности сельскохозяйственных культур и низкому качеству сельскохозяйственной продукции, что создает значительные опасности для здоровья человека, животных и экосистем [7]. Поэтому становится необходимым удалить накопленные металлы. Различные способы удаления тяжелых металлов показаны в Таблице 2. Удаление одиночных тяжелых металлов, таких как Co и Zn, из водных растворов с использованием различных недорогих адсорбентов (Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeS , стальной ваты, гранул Mg, медных гранул, цинков Zn, Al-гранулы, гранулы железа и уголь). Значение pH раствора при адсорбции металла с использованием Fe_2O_3 и Fe_3O_4 было значительно эффективным, и удаление было р-независимым во всем изученном диапазоне pH (1,5-9,0) [15]. Механизмами, предлагаемыми для участия в накоплении переходных металлов растениями, являются фитоаккумуляция, фитоэкстракция, фитоволатизация, фитодеградация и фитостабилизация

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Главное место в загрязнении почв тяжелыми металлами принадлежит Pb, Ni, Zn и Cu. Самые загрязненные участки - техногенные

2. В корнях обычно накапливаются Zn, Cu, Fe, Pb, Mg и Сг; в стеблях – Pb и Сг; в листьях - Zn, Cu, Fe, Pb и Mg. Значительные количества Ni обнаруживаются лишь в корнях растений.

3. Распределение поглощенных химических элементов в растениях зависит от их биологической роли и специфики биохимических процессов в различных частях растений. Поэтому распределение по органам элементов в пределах одного и того же растения, так же как и концентрация одного и того же элемента в растениях различных видов, будут неравномерными.

4. Изучено влияние тяжелых металлов на модификацию активности Н⁺-. В растениях, напряженных в течение 2 ч при 10 мкМ или 100 мкМ транспортирующая активность Н⁺-Атфазы в плазматических мембранах корневых клеток снижалась

5. Элементный состав для большинства растений меняется по сезонам

6. Они накапливаются и тем самым нарушают функцию в жизненно важных органах и железах, таких как сердце, мозг, почки, кость, печень и т. Д.

7. Они вытесняют жизненно важные питательные минералы из своего первоначального места, препятствуют их биологической функции. Тем не менее, невозможно жить в условиях, свободных от тяжелых металлов. Существует много способов, которыми эти токсины можно вводить в организм, таких как потребление продуктов питания, напитков, воздействия на кожу и вдыхаемого воздуха [1].

8. Растения испытывают окислительный стресс при воздействии тяжелых металлов, что приводит к клеточному повреждению и нарушению клеточного ионного гомеостаза.

9. Концентрация металлов в почве обычно колеблется от менее одного до 100 000 мг / кг [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авессаламов, И.А. Геохимические показатели при изучении ландшафтов / И.А. Авессаламов. – М.: Наука, 2017. – 108 с.
2. Башкин, В. Н., Касимов Н.С., Биогеохимия / В. Н. Башкин, Н. С. Касимов. – М.: Научный мир, 2004. – 648 с.
3. Быстрова, Е.И. Сравнение влияния тяжелых металлов на рост корня в связи с проблемой специфичности и избирательности их действия / Е. И. Быстрова // Физиология растений. – 2013. – Т. 50. – С. 445 – 454.
4. Гайденок, Г.В. Распределение тяжелых металлов и стронция по тканям проростков кукурузы в связи с проблемой специфичности и избирательности их токсического действия / Г. В. Гайденок // Биоразнообразие природных и антропогенных экосистем / Сборник статей участников молодежного научного семинара. – Екатеринбург, 2012. – №2. – С. 22 – 25.
5. Добровольский, В.В. Основы биогеохимии / В. В. Добровольский. – М.: Наука, 2014. – 413 с.
6. Журбицкий, З. И. Теория и практика вегетационного метода / З. И. Журбицкий. – М.: Наука, 2014. – 266 с.
7. Иванов, В. Б. Гистохимические методы изучения распределения кадмия и свинца в растениях / В. Б. Иванов // Физиология растений. – 2017. – №4. – С. 915 – 921.
8. Казюмина, Е.М. Функционально–анатомическое изучение токсического действия металлов кадмия и свинца на корень кукурузы / Е. М. Казюмина // Труды II Международной конференции по анатомии и морфологии растений. Санкт-Петербург. – 2012. – С. 311.
9. Калива, М. М. Является ли барьерная функция эндодермы единственной причиной устойчивости ветвления корней к солям тяжелых металлов / М. М. Калива // Физиология растений. – 2014. – №2. – С. 922 – 925.
10. Кожевникова, А. Д. Гистохимические методы определения

локализации и токсичности тяжелых металлов и стронция / А. Д. Кожевникова // Труды V съезда общества физиологов растений России. – Пенза, 2013. – С. 334.

11. Кожевникова, А. Д. Токсическое действие и распределение металлов в растениях / А. Д. Кожевникова // Физиология растений. – 2013. – Т. 50. – С. 793 – 800.

12. Наумов, И. В. Функционально–анатомическое изучение токсического действия металлов на корень проростков кукурузы / И. В. Наумов. – М.: МПГУ, 2015. – 190 с.

13. Оборотов, Н. К. Фитохелатины и их роль в детоксикации металлов у высших растений / Н. К. Оборотов // Успехи биологической химии. – Т. 41. – 2013. – С. 283 – 300.

14. Орлов, Д. С. Микроэлементы в почвах и животных организмах / Д. С. Орлов // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – № 1. – С. 61-68.

15. Парибок, Т. А. Загрязнение растений металлами и его эколого-физиологические последствия / Т. А. Парибок // Растения в экстремальных условиях минерального питания / под ред. М.Я. Школьниковой, Н.В. Алексеевой-Поповой. – Л.: Наука, 1983 – С. 82-100.

16. Перельман, А. И. Тяжелые металлы в почвах и растениях / А. И. Перельман. – М.: Наука, 2015. – 342 с.

17. Пехов, В. М. Использование плазмоллиза для выяснения локализации свинца в корневых клетках / В. М. Пехов // Физиология растений. – 2012. – Т. 49. – С. 317 – 319.

18. Пехов, В. М. Распределение и токсическое действие никеля на рост проростков кукурузы / В. М. Пехов // Труды международной конференции «Биологические ресурсы и устойчивое развитие». Пущино. – 2014. – С. 178.

19. Прохорова, Н. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях в условиях техногенеза / Н. В. Прохорова, Н. М. Матвеев // Вестник СамГУ. – 2016. – 3. – С. 125 – 148.

2014. Серегин, И. В. Роль тканей корня и побега в транспорте и накоплении кадмия, свинца, никеля и стронция / И. В. Серегин // Физиология растений. – 2015. – Т. 55. – С. 3 – 26.

20. Соколик, А. И. Видовая специфичность действия тяжелых металлов на ацидофицирующую активность корней растений / А. И. Соколик, Н. В. Кабанова, Ю. А. Сорока // Труды Белорусского государственного университета. Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. – 2015. – №3. – С. 50 – 59.

21. Тарнов, Р. В. Транспорт, распределение и токсическое действие металлов / Р. В. Тарнов // Физиология растений. – 2014. – Т. 51. – С. 241 – 248.

22. Ткачук, М. С. Барьерная роль эндодермы при поступлении Cd и Pb в корень / М. С. Ткачук // Труды Международной конференции по анатомии и морфологии растений. – Санкт–Петербург, 2013. – С. 40 – 41.

23. Уланов, В. Ф. Токсическое действие и распределение металлов в растениях / В. Ф. Уланов // Труды VII съезда общества физиологов растений России. – 2015. – С. 288.

24. Фетистов, В. Н. Физиологические аспекты токсического действия металлов на высшие растения / В. Н. Фетистов // Физиология растений. – 2014. – №2. – С. 606 – 630.

25. Шелестов, А. А. Функционально–анатомическое изучение токсического действия металлов на высшие растения / А. А. Шелестов // Труды съезда физиологов растений России. – 2014. – С. 459.

26. Шильников, И. А., Лебедева Л. А., Лебедев С. Н., Факторы, влияющие на поступление тяжелых металлов в растения / И. А. Шильников, Л. А. Лебедева // Агрохимия. – 1994. – №10. – С.54-58.

27. Шкаранов, Н. Н. Токсическое действие и распределение тяжелых металлов и стронция в проростках кукурузы / Н. Н. Шкаранов // Труды VIII конференции ботаников в Санкт–Петербурге. – 2015. – С. 135 – 136.

28. Школьников, М. Я. Микроэлементы в жизни растений / М. Я Школьников. – Л.: Наука, 1974. – 324 с.

29. Шпигун, Л. К. Распределение и токсическое действие кадмия и свинца на корни растения / Л. К. Шпигун // Физиология растений. – 2014. – №3. – С. 582 – 591.
30. Юранов, К. К. Распределение и токсическое действие стронция на рост проростков кукурузы / К. К. Юранов // Труды съезда общества физиологов растений России. – 2013. – С. 335.
31. Ягодин, Б. А., Кидин В. В., Цвирко Э. А., Маркелова В.Н., Саблина С.М. Тяжелые металлы в системе почва-растение / Б. А. Ягонин, В. В. Кидин, Э. А. Цвирко // Химия в сельском хозяйстве. – 1996. – №5. – С.43-45.
32. Янковская, В. С. Передвижение ионов металлов по тканям корня / В. С. Янковская // Физиология растений. – 2015. – №5. – С. 899 – 905.
33. Bergmann, H. Barrier role of root system in lead – exposed plants / H. Bergmann // Angew. Bot. – 2014. – V. 72. – P. 144 – 147.
34. Obroucheva, N. V. Root growth inhibition by lead / N.V. Obroucheva, O.V. Antipova, V. B. Ivanov// Int. Symp. On Structure and Function of Roots. – 2014. – №6. – P. 81.
35. Thurman, D. A. Mechanism of metal tolerance in higher plants / D. A. Thurman // Effect of heavy metal pollutions on plants: in 2 vol. Ed. Lepp N. W. – L. N. Jersey: Applied Science Publ. – 2016. – V. 2. – P. 239 – 249.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет
физико-математических
и естественных наук

Кафедра
«Общая биология и биохимия»

Направление подготовки
06.03.01 Биология
Профиль подготовки «Биохимия»

Утверждаю:
Зав. кафедрой
Карпов Г.А. Карпова
« 01 » 11 201 7 г.

Задание

По ВКР студента Ахмеровой Гульнары Хамзиевны

Тема работы: «Аккумуляция и распределение тяжелых металлов у высших растений. Биохимические основы процессов».

Утверждена приказом по Университету от « 31 » 10 201 7 г. № 10964/6

Срок сдачи студентом законченной работы « 25 » мая 201 8 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН ВКР

№ п/п	Перечень подлежащих разработке вопросов:	Сроки выполнения этапов	Примечания
1	Обзор литературы по тематике ВКР	Ноябрь 2017г.	Выполнено
2	Написание главы «Теоретические аспекты воздействия тяжелых металлов на растения»	Декабрь 2017г.- Февраль 2018г.	Выполнено
3	Выводы по главе 1	Февраль 2018г.- март 2018г.	Выполнено
4	Написание главы «Накопление и распределения тяжелых металлов в растительном организме»	Апрель 2018г.	Выполнено
5	Выводы по 2 главе	Май 2018г.	Выполнено
6	Подготовка окончательного варианта ВКР к сдаче. Проверка содержания исследования по системе «Антиплагиат. ВУЗ»	Май 2018г.	Выполнено
7	Подготовка доклада и презентации к защите ВКР	Июнь 2018г.	Выполнено

Дата выдачи задания « 01 » 11 2017г.

Руководитель _____

Задание принял к исполнению _____