

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
( Н И У « Б е л Г У » )

**ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**  
**Кафедра экологии, физиологии и биологической эволюции**

**ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТАЮЩИХ ДОЗ СОЛЕЙ Р<sub>b</sub> И С<sub>d</sub>**  
**НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КЛЕТОК ЭПИДЕРМЫ**  
**ЛИСТА ГОРОХА ПОСЕВНОГО (*Pisum sativum*) И ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ**  
**(*Triticum aestivum*)**

**Выпускная квалификационная работа бакалавра**  
очной формы обучения 4 курса группы 07001214  
направление подготовки 06.03.01 Биология  
Мирошниченко Лилии Викторовны

Научный руководитель  
кандидат сельскохозяйственных наук,  
доцент Скорбач В.В.

БЕЛГОРОД 2016

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Глава 1. Обзор литературы.....	7
1.1. Пути поступления свинца и кадмия в растения.....	7
1.2. Влияние тяжелых металлов на растения.....	9
1.2.1. Влияние Pb на рост и развитие растений.....	11
1.2.2. Влияние Cd на рост и развитие растений.....	14
1.3. Механизмы поглощения и трансформации ионов тяжёлых металлов в почвах .....	16
1.3.1. Физико-химические оценки механизмов поглощения свинца (Pb).....	18
1.3.2. Содержание кадмия в почвенных растворах.....	19
1.4. Тяжелые металлы в системе почва – растения.....	20
1.4.1. Тяжелые металлы в растительности незагрязненных территорий.....	20
1.4.2. Тяжелые металлы в растительности техногенно загрязненных территорий.....	21
1.5. Токсическое действие свинца и кадмия на здоровье человека.....	22
1.6. Морфо-биологическое описание и применение гороха посевного.....	25
1.7. Морфо-биологическое описание и применение пшеницы мягкой.....	26
Глава 2. Материалы и методы исследования.....	28
2.1. Материалы и оборудование, используемые при проведении исследования.....	28
2.2. Методика сбора растительного материала.....	29
2.3. Методика приготовления временных препаратов и исследования основных клеток эпидермы.....	30
Глава 3. Полученные результаты и их обсуждение.....	33
3.1. Площади клеток эпидермы листа гороха посевного.....	33
3.2. Площади клеток эпидермы листа пшеницы мягкой.....	37

3.3. Анализ полученных результатов.....	42
Выводы.....	45
Список использованной литературы .....	46
Приложения.....	49

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из сильнейших по действию и наиболее распространенным химическим загрязнением окружающей среды является загрязнение тяжелыми металлами. К тяжелым металлам относятся более 40 химических элементов периодической системы Д.И. Менделеева, масса атомов которых составляет свыше 50 атомных единиц. Иногда тяжелыми металлами называют элементы, плотность которых более 7 – 8 тыс. кг/м<sup>3</sup> (кроме благородных и редких) (Орлов и др., 1991).

Термин тяжелые металлы чаще всего рассматривается не с химической, а с медицинской и природоохранной точек зрения и, таким образом, при включении в эту категорию учитываются не только химические и физические свойства элемента, но и его биологическая активность и токсичность, а также объем использования в хозяйственной деятельности (Трахтенберг, 1994).

Главным природным источником тяжелых металлов являются породы (магматические и осадочные) и породообразующие минералы (Орлов и др., 1991). Предприятия металлургической промышленности, прежде всего цветной, рудники по добыче полиметаллических руд, тепловые электростанции, автомобильный транспорт, средства химизации сельского хозяйства считаются основными загрязнителями почвы и растений тяжелыми металлами. Особую категорию загрязнителей составляют осадки городских сточных вод и отходов промышленного производства. К наиболее токсичным тяжелым металлам относятся те, содержание которых в живых организмах очень мало, и достаточно небольшого увеличения их концентрации, чтобы сделать ее опасной для процессов метаболизма. С этой точки зрения особо токсичными являются Hg, Cd, Pb, As, Co, Mo (Добровольский и др., 1987).

Техногенное загрязнение окружающей среды напрямую влияет на здоровье людей. При этом происходит рост многих хронических заболеваний:

аллергических, нервно-психологических, сердечно-сосудистых, легочных и многих других (Эйхлер, 1993).

Для обезвреживания ядовитых органических веществ, попавших с отходами химических предприятий, довольно успешно используют различные микроорганизмы. Однако они не способны удалять из почвы и воды вредные для здоровья тяжелые металлы – кадмий, ртуть, свинец, селен, а также радиоактивные изотопы стронция, урана и другие. Выяснилось, что зеленые растения поглощают из окружающей среды и концентрируют в своих тканях различные элементы (Трахтенберг, 1994).

В последнее время роль растений стала очевидна, так как они выполняют функцию очистки природной среды от всевозможных загрязнителей. Они очищают воду, воздух и почву от токсических соединений. Нужно заметить, что растения гораздо сильнее поражаются токсическими веществами и сильнее влияют на те концентрации вредных веществ, которые у людей и животных не оставляют видимых изменений. Таким образом, растения выполняют функцию индикаторов окружающей среды (Большаков, 1978).

Постоянное воздействие техногенного загрязнения на лекарственные и сельскохозяйственные растения обуславливает накопление токсических веществ, в том числе и тяжелых металлов, в тех частях, которые используются человеком как сырье и для пищи (Головатый и др., 2000).

*Актуальность исследования:* проблема охраны биосферы от химического загрязнения, которое вызвано развитием промышленности, транспорта, химизации сельского хозяйства, интенсивной урбанизации приобретает всё большую значимость в настоящее время. Особенно обострилась данная проблема в связи с загрязнением окружающей среды тяжёлыми металлами. Наиболее опасными загрязнителями окружающей среды среди тяжёлых металлов являются кадмий и свинец.

*Целью* исследования явилось изучение влияния возрастающих доз солей Cd и Pb на морфометрические показатели клеток эпидермы гороха посевного (*Pisum sativum* L.) и пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.).

Для осуществления данной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Приготовить временные микропрепараты, измерить площади клеток эпидермы листа гороха посевного (*Pisum sativum* L.) под влиянием солей Cd и Pb и сравнить полученные результаты
2. Приготовить временные микропрепараты, измерить площади клеток эпидермы листа пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.) под влиянием солей Cd и Pb и сравнить полученные результаты
3. Проанализировать данные, полученные в ходе опыта

*Объекты исследования:* Растения: горох посевной (*Pisum sativum* L.), семейство Бобовые (*Fabaceae*) и пшеница мягкая (*Triticum aestivum* L.), семейство Мятликовые, или Злаки (*Poaceae*, или *Gramineae*).

## Глава 1. Обзор литературы

### 1.1. Пути поступления свинца и кадмия в растения

Изучение поглощения растениями тяжелых металлов позволяет разработать мероприятия по охране природной среды. Поэтому все тяжелые металлы можно разделить на две группы: 1) необходимые для метаболизма растений, которые становятся токсичными, когда превышают необходимый для растений уровень, и 2) металлы, не участвующие в метаболизме растений, которые токсичны даже в очень малых концентрациях. Растения могут поглощать тяжелые металлы из воздуха и почвы (Виноградов, 1985).

Механизмы поступления металлов в растения корневым путем включают пассивный перенос ионов в соответствии с градиентом их концентрации и активное поглощение клеткой против градиента концентрации. Соотношение пассивного и активного механизмов поступления веществ зависит от условий внешней среды.

Отмечено, что при содержании металлов в небольших количествах основной вклад вносит активное метаболическое поглощение. При наличии в среде высоких концентраций металлов поглощение носит преимущественно не метаболический характер, а является результатом их диффузии в свободное пространство корня (Нестерова, 1989).

Основная часть поступивших в корни тяжелых металлов транспортируется в наземные органы по апопласту. Однако возможен и симпластический транспорт металлов, что представляет опасность с точки зрения их отложения в клетках стеблей и листьев (Башмаков, 2009). Существует мнение, что в репродуктивные органы ионы металлов поступают симпластически, а в вегетативные части – апопластически (Алексеев и др., 1987).

Основной путь ионов свинца и кадмия в корнях можно представить следующим образом: двухэтапное поглощение, транспорт по апо- и симпласту до эндодермы и в базальные участки корня, в дальнейшем происходит их проникновение в центральный цилиндр через молодую эндодерму со слабо развитыми поясками Каспари, а также частично через избирательно проницаемые мембраны протопласта в эндодерме. Далее осуществляется поступление части ионов или соединений металлов по ксилеме в надземные органы (Нестерова, 1989).

Значимо то, что корни растений являются мощным барьером в транспорте тяжелых металлов в надземные части растений. Он включает в себя слой клеток протодермы с прилегающими клетками меристемы, эндодерму и клетки центральной части апикальной меристемы (Серегин, 1997). Кроме корневого у растений существует еще два барьера, где возможны связывания тяжелых металлов: на границе корень-стебель и стебель-соцветие (Ильин, 1991).

На поступление металлов из почвы в растения влияют: тип почвы, концентрация, форма нахождения тяжелого металла, рН почвы, содержание органических веществ (Большаков, 1978). Способность растений к поглощению металлов варьирует в зависимости от видовых особенностей и фазы развития. Известно, что наиболее активно металлы поглощаются на ранних стадиях онтогенеза, а у некоторых и в период созревания семян (Ильин, 1991).

Значительное воздействие на растения может оказывать поступление свинца и кадмия из воздушных источников через листья. Этот процесс состоит из двух фаз: 1) неметаболическое проникновение через кутикулу и 2) метаболический перенос ионов через плазматические мембраны и протоплазму клеток (т.е. накопление металлов против градиента концентрации).



Металлы, поглощенные листьями, могут переноситься в другие части растения. Однако часть металлов может быть вымыта дождевой водой. Степень вымываемости может быть различной. Например, свинец легко удаляется с поверхности листа (т.к. присутствует в виде осадка). Напротив, доля смываемого кадмия мала, что указывает на значительное проникновение его в листья (Нестерова, 1989).

## **1.2. Влияние тяжелых металлов на растения**

Часть техногенных выбросов тяжелых металлов, поступающих в атмосферу в виде тонких аэрозолей, переносится на большое расстояние и вызывает глобальное загрязнение. Другая часть с гидрохимическим стоком попадает в бессточные водоёмы, где накапливается в водах и донных отложениях и может стать источником вторичного загрязнения. Основная масса выбросов осаждается в непосредственной близости от источника загрязнения. Наиболее сильное загрязнение тяжелыми металлами наблюдается вблизи автострад, особенно свинцом, а также цинком и кадмием. Ширина придорожных аномалий свинца достигает 100 м и более (Алексеев и др., 1987).

Тяжёлые металлы поступают в придорожное пространство как в результате работы собственно автотранспортных средств, так и при истирании дорожного полотна. В результате истирания автопокрышек в почву вблизи автомобильной дороги поступают: алюминий, кобальт, медь, железо, марганец, свинец, никель, фосфор, титан, цинк и другие элементы.

Подшипники, вкладыши, тормозное масло - источники поступления в окружающую среду меди и цинка. Кадмий поступает в природную среду в результате износа шин и истирания асфальтобетона.

Никель и хром - продукты износа покрытий кузовов, железо - продукт истирания цилиндров двигателя. Самыми опасными из ряда тяжёлых

металлов считаются кадмий и свинец. Установлено, что 75% свинца, содержащегося в топливе двигателя внутреннего сгорания, выделяются в воздух в составе аэрозолей в сочетании с ионами хлора и брома и рассеивается (Уткин, 2004).

Частицы кадмия оседают в основной массе в непосредственной близости от края автомобильной дороги. Их рассеивание в воздухе также сильно зависит от погодных условий, главным образом, от ветра. Основная часть металлов автотранспортного происхождения очень быстро попадает на поверхность почвы. Часть из них включается в процессы почвообразования, часть поглощается растениями, часть выносится поверхностными и грунтовыми стоками (Левин, 1989).

Степень накопления свинца в верхних слоях почвы определяется свойствами почвы и типом транспортной нагрузки, сочетания которых создают большое разнообразие значений содержания свинца в почве. Кадмий гораздо более подвижен в почвах и мигрирует тем легче, чем меньше слой почвенного гумуса (Серегин, 2009).

Если частицы свинца представляют собой аэрозольную плёнку на поверхности растения, то кадмий и цинк частично проникают в лист. Аэрозоли, действующие на лист, как правило, биологически менее активны, чем загрязнители, проходящие через корневую систему.

Свинец в 10 раз активнее других металлов, адсорбируется митохондриями, что приводит к разбуханию этих органоидов и увеличению их проницаемости. Кадмий в свою очередь активнее поглощается корнями, нежели листьями, хотя и из листьев он легко перемещается (Колесников и др., 2000).

В ряду экспериментов было установлено, что размеры основных эпидермальных клеток варьируют в разной степени на исследуемых участках, но всегда меньше, чем на участке, удаленном от крупных промышленных

предприятий и автомобильных дорог с высокой интенсивностью транспортного потока (Скорбач и др., 2009).

### **1.2.1. Влияние Pb на рост и развитие растений**

Свинец является опасным загрязнителем окружающей среды, так как этот металл широко используется в промышленности и относится к I классу опасности (Орлов и др., 1991).

ПДК свинца в почве составляет 30 мг/кг. Основным источником свинцовых загрязнений является мировой автомобильный парк. Максимальные концентрации свинца были отмечены в пределах 50 м от дорожного полотна, при этом они составляли 200 мкг/кг. Свинцовые загрязнения служат причиной образования техногенных аномалий свинца, простирающихся на расстоянии 100 м от дороги (Добровольский и др., 1987).

В пыли предприятий строительной индустрии свинца содержится: при производстве кирпича - 100-280 мг/кг; при производстве цемента - от 540 мг/кг (пыль мельничного цеха) до 1400 мг/кг (пыль цеха обжига клинкера); при производстве бетона - 70-80 мг/кг. В зонах электростанций, чаще всего основных источников запыления атмосферы городов, содержание свинца тоже очень повышено (от 50 до 150 мг/кг). Таким образом, в составе пыли, выбрасываемой распространенными в городах производствами в виде не учитываемых примесей, содержится свинец в концентрациях в 2-10, иногда 40-70 раз выше, чем в фоновой (почвенной) пыли (Орлов и др., 1991).

Перенос взвешенного в воздухе свинца на биоту может происходить прямым или косвенным путем. У растений накопление свинца за счёт выпадения осадков может происходить прямым путем - через надземные части растений, или косвенным путем - через почву. Характер и степень накопления свинца, по-видимому, существенно зависит от стадии роста растений. Содержание свинца в некоторых растениях в период активного

роста возрастает в 10 раз и более по сравнению с поздней осенью, когда рост прекращается (Матвеев и др, 1997).

Нет сомнения, что растения получают свинец из почвы и воздуха, но видовые различия весьма значительны. Хотя растения не могут всасывать свинец непосредственно из почвы, овощи и фрукты, растущие в загрязненных районах, могут быть заметно загрязнены свинцом .

Повышенное содержание свинца вызывает функциональные нарушения в пигментных комплексах и уменьшение содержания хлорофилла в тканях. У растений под влиянием свинца угнетаются ростовые процессы, снижается содержание витамина С и провитамина А (Орлов и др., 1991).

Свинец относится к группе наиболее токсичных элементов в биосфере. Он ещё с давнего времени имеет широкое применение в промышленности, поэтому поступление свинца в биосферу превышает все природные нормы. При сжигании нефти и бензина в среду поступает не менее 50% всего антропогенного выброса свинца, что является главной составляющей в глобальном цикле данного элемента (Добровольский и др., 1987).

Другими источниками свинцового загрязнения являются металлургические заводы, пестициды, содержащие арсената свинца, фосфатные удобрения, краски на свинцовой основе и израсходованные свинцовые пули из ружей. Свинец попадает в почву и в сухом виде, что говорит о сильном загрязнении приземного слоя тропосферы. Пыль, содержащая свинец, оседает на растениях и других предметах, а затем смывается осадками в почву. Установлено, что количество свинца в почвенной пыли в сельской местности приблизительно в 10 раз меньше, чем в городской пыли (Безуглова и др., 2000).

Часть свинца поступает в растительные организмы в результате пассивного поглощения корнями. Из корневой системы в листья и стебли поступает незначительное количество металла. Повышенная концентрация свинца в корнях растений связана с образованием нерастворимых

комплексов, накоплением их в клетках и слабым накоплением в других частях растения (Матвеев и др., 1997).

Количество свинца, накапливающегося на листовой пластинке, зависит от её изрезанности, опушенности, наличия смолистых веществ, воска и т.д. Вероятно, свинец закрепляется в восковом налёте и не смывается водой. Таким образом, значительная часть свинца, накапливаясь в листьях, находится в пассивном состоянии и не перемещается в другие органы и ткани растений (Школьник и др., 1983).

Свинец, накапливаясь в растениях, вызывает физиологические и функциональные нарушения в растениях. Свинец в достаточно высокой концентрации тормозит прорастание семян, замедляет рост корней в длину, а также образование корневых волосков. У листьев, отравленных свинцом растений, наблюдается хлороз, часто между жилками. Особенно сильно поражаются молодые листья (Школьник и др., 1983).

Под влиянием свинца активность фотосистемы I и II снижалась, причём фотосистема II оказалась более чувствительной к действию этого фитотоксиканта. Свинец замедляет способность изолированных хлоропластов на свету выделять кислород и фотосинтетическое фосфорилирование. Установлено, что в хлоропластах растений, растущих поблизости от автострады, наблюдается подавление образования АТФ. Кроме того, свинец вызывает потерю тургора клетками растений, в результате чего листья становятся дряблыми. Клетки корня перестают делиться. У редиса свинец подавляет образование корнеплода. Урожайность культурных растений вблизи предприятий, загрязняющих природную среду свинцом, сильно снижается. Вместе с тем присутствие свинца в окружающей среде приводит к существенному снижению качества продукции. В опытах с петрушкой было показано, что количество  $\beta$ -каротина и аскорбиновой кислоты в растениях резко снижалось, если они произрастали на расстоянии 30 м от автострады по

сравнению с растениями, находящимися от нее на расстоянии 200 м (Добровольский и др., 1987).

### **1.2.2. Влияние Cd на рост и развитие растений**

Кадмий, как и свинец, относится к I классу опасности. ПДК кадмия в почве составляет 5 мг/кг. Источники загрязнения окружающей среды кадмием весьма многообразны — кадмий попадает в воздух при сжигании каменного угля. Каждая тонна каменного угля содержит в среднем 2 г кадмия (в нефти его намного меньше). В последние 10-15 лет уменьшение потребления каменного угля (за счет использования нефти) уже заметно способствовало снижению загрязненности воздуха кадмием (Головатый и др., 2000).

В настоящее время очень важным источником загрязнения кадмием служат фосфатные удобрения, с которыми в почву, а следовательно, и в пищевые продукты, всегда попадает некоторое количество кадмия. Кадмий содержится в высоких концентрациях во многих химических удобрениях и в отходах производства пластмасс.

Было показано также негативное влияние кадмия на текущий рост красного клена, сосны веймутова и ели европейской. Было сообщено об остановке роста растений и токсических изменениях листьев капусты, моркови, редьки, но лишь при самых высоких исследованных концентрациях кадмия, которые в результате приводили к содержанию кадмия в верхних частях растений .

Источниками загрязнения кадмия являются добыча и металлургия цинка, электронная и полупроводниковая промышленность, производство красок, электротехническая промышленность и суперфосфатные удобрения (Ильин, 1991).

Ежегодное поступление кадмия из природных источников составляет 0,83 тыс. т, в то время как антропогенные источники дают 7,3 тыс. т. Таким образом, все природные источники отступают на второй план по сравнению с человеческой деятельностью (Головатый и др., 2000).

Из атмосферы кадмий поступает в почву. Загрязнение её этим элементом носит устойчивый характер, поскольку из почвы он вымывается очень медленно (Безуглова и др., 2000).

Большое количество кадмия обнаруживается в растениях, произрастающих вблизи от автомобильных дорог. Так, например, в хвое ели обыкновенной, растущей поблизости от автострады, количество кадмия возрастает в 11-17 раз (Кавтарадзе и др., 2007).

Существует прямая зависимость между содержанием кадмия в почве и поступлением его в растения, но между поглощением этого элемента и реакцией на него такой зависимости, по-видимому, нет. Так, сосна веймутова, по сравнению с кленом красным и елью, поглощает кадмий более интенсивно, но видимые симптомы повреждения проявлялись у нее в меньшей степени, чем у этих растений. Симптомы избыточного поступления в растения кадмия проявляются в постепенном изменении окраски кончиков листьев и черешков до красновато-бурой и пурпурной. При этом листья скручиваются, становятся хлоротичными и опадают (Школьник и др., 1983).

В опытах с рисом показано, что этот элемент замедляет темпы роста растений. При внесении его в количестве 20 мг на 1 кг почвы урожай растения снижался на 50%. По силе своего действия на растения кадмий превосходит многие другие ТМ. Гибель растений отмечается при концентрации этого элемента в почве 30 мг/кг. Неудивительно, что вблизи предприятий, выбрасывающих в атмосферу кадмий, наблюдается резкое снижение урожайности и даже гибель культурных растений (Трешоу, 1988).

Высокая фитотоксичность кадмия объясняется его близостью по химическим свойствам к цинку. Поэтому кадмий может выступать в роли цинка во многих

биохимических процессах, нарушая работу таких ферментов, как карбоангидраза, различные дегидрогеназы, фосфатазы, связанные с дыханием и другими физиологическими процессами, а также протеиназ, пептидаз, участвующих в белковом обмене. Замещение цинка кадмием приводит к цинковой недостаточности, что в свою очередь вызывает угнетение и даже гибель растений (Головатый и др., 2000).

Большое количество кадмия попадает в почву при разработке и добыче цинковых руд. На таких почвах нельзя выращивать растения, ибо этот токсикант аккумулируется в тканях растений и может затем поступать в организм человека. Накопление кадмия происходит главным образом в корнях растений риса и пшеницы, однако часть его достигает других органов (Ильин, 1991).

Одна из причин торможения роста растений, произрастающих в присутствии кадмия, резкое снижение интенсивности фотосинтеза. Присутствие в 1 кг листьев 96 мг этого элемента ослабляет интенсивность фотосинтеза на 50 %. Однако это не главная причина токсического действия кадмия на растения (Матвеев и др., 1997).

### **1.3. Механизмы поглощения и трансформации ионов тяжёлых металлов в почвах**

Особое место в системе циклического обмена металлов занимает почва, так как в ней сходятся общие миграционные потоки. В почве мобилизуются металлы, вовлекаемые в различные миграционные циклы, а также происходит перераспределение массы металлов, поступивших из почвообразующих пород, с опадом растительности и осаднениями из атмосферы.

Регулирование почвой потоков металлов обусловлено системой равновесий и взаимопереходов между различными формами металлов. Избыточное количество металлов, поступивших в биосферу в результате техногенного загрязнения, выводятся из системы миграционных циклов и прочно связываются в твердой фазе почвы (Авраменко, 1987).



О механизмах связывания свинца и кадмия можно судить по их содержанию в почвах. В почвы металлы поступают в виде примесей в удобрениях, галогенидов и оксидов этих металлов, которые содержатся в выхлопных газах автомобилей (Понизовский и др., 1997).

В поверхностном горизонте содержание свинца чаще всего наиболее высокое. В промышленных и рудодобывающих районах это объясняется антропогенным воздействием. Несмотря на это повышенная концентрация свинца в поверхностном слое не всегда зависит от атмосферных выпадений. Часто в незагрязненных районах содержание элемента больше в лесной подстилке и корнеобитаемой зоне (Золотарева, 1980).

В целом, они дают основание полагать, что в кислых почвах существует часть свинца, вплоть до 70%, способная действительно обмениваться на другие ионы; в нейтральных почвах преобладают фракции, связанные с оксидами Fe – Mn и органическим веществом, а в слабощелочных и щелочных условиях свинец распределён между карбонатной, органической и остаточной фракциями.

Тем не менее, химический состав и свойства соединений, присутствие которых обуславливает наличие элемента в этих фракциях, остаются неясными. Таким образом, само по себе фракционирование сравнительно мало информативно.

Твёрдые соединения свинца в почвах находятся во взаимодействии с почвенным раствором, через который происходит как поступление элемента в растения, так и внутрипочвенная миграция и трансформация его соединений.

Характер связывания свинца в твёрдых составляющих, очевидно, и определяет его концентрацию в растворе, которая должна, таким образом, отражать свойства соединений, в которых находится свинец.

Чтобы понять причины появления свинца в почвенном растворе, необходимо проанализировать свойства соединений этого элемента, которые могли бы присутствовать в почвах, и возможные механизмы его связывания.

### 1.3.1. Физико-химические оценки механизмов поглощения свинца

Основные механизмы связывания свинца представляют осаждение его малорастворимых солей и обменное поглощение гидроксидами металлов, силикатами и органическим веществом почв (Доклад о свинцовом загрязнении окружающей среды).

К малорастворимым соединениям свинца относят природные минералы (например, галенит), рудные минералы (англезит, церуссит, пироморфит и милитезит). Металлический свинец относительно устойчив к воздействию природных факторов, так как на его поверхности образуется пленка оксикарбоната, защищающая металл от дальнейшего окисления. При воздействии воды, содержащей растворенный кислород, образуются гидроксиды свинца, которые делают воду токсичной.

Другим механизмом поглощения свинца является обменное или необменное поглощение металла гидроксидами железа и марганца, глинистыми минералами и органическим веществом почв (Понизовский и др., 1997).

Исходя из данных указанных в таблице 1.1, можно сделать вывод о том, что существуют некоторые условные фракции свинца в почвах, которые нельзя отнести к определенным химическим соединениям, а также в зависимости от свойств почв металл можно сделать практически недоступным для растений (Зырин и др., 1986).

Таблица 1.1

#### Механизмы поглощения Pb в почвах

Тип поглощения	На чем происходит связывание	Характер взаимодействия
Обменное осаждение	Оксиды-гидроксиды Fe и Mn	-образование поверхностных комплексов по уравнениям (1) и (2)

## Продолжение таблицы 1.1

	Силикатные материалы	-электростатическое или полярное с участием Si – O – группы проникновение в межплоскостные промежутки алюмосиликатов -связывание на цеолитах
	Органическое вещество	-полярное, через карбоксильные группы полярное, через фенольные группы
Необменное осаждение	Оксиды-гидроксиды Fe и Mn, силикатные минералы и органическое вещество	-выпадение в осадок $PbCO_3$ или пироморфита -связывание ионов или заряженных комплексов на поверхности с изменением заряда поверхности -связывание на цеолитах

**1.3.2. Содержание кадмия в почвенных растворах**

В почвы кадмий может поступать в результате добычи и переработки цинковых, свинцово-цинковых руд и в виде примесей, содержащихся в выхлопных газах автомобилей. Он добавляется для прочности при изготовлении пластмассы и при ее сжигании попадает в биосферу. Производство красок, электротехнической продукции, а также добыча и металлургия цинка являются основными источниками загрязнения почвы кадмием. Вероятно, этот элемент концентрируется в глинистых осадках и сланцах (Нестерова, 1989).

Кадмий аккумулируется в гумусовом слое почв. Максимальная адсорбция металла характерна для нейтральных и щелочных почв с высоким содержанием гумуса. В почвах, обедненных гумусом, процесс миграции кадмия усиливается.

Концентрация кадмия в почвенных растворах относительно низкая, около 0,2-6 мкг/л. В почвах, развивающихся в условиях влажного климата,

миграция металла вниз по профилю более вероятна, чем накопление в поверхностном горизонте (Кабата и др., 1989).

Загрязнение почв кадмием рассматривается как наиболее серьезная опасность для здоровья человека, поэтому тщательно были изучены методы, предназначенные для управления режимом обогащенных кадмием сельхозугодий. Эти методы были основаны на повышении рН и катионообменной емкости почв. Наиболее надежные результаты были получены при насыпке поверх загрязненной почвы слоя чистой почвы толщиной 30 см (Нестерова, 1989).

## **1.4. Тяжелые металлы в системе почва – растения**

### **1.4.1. Тяжелые металлы в растительности незагрязненных территорий**

Техногенное загрязнение почвы отрицательно отражается на растениях. Проникая в избытке в растительные организмы, тяжелые металлы подавляют ход метаболических процессов, тормозят развитие, снижают продуктивность. Поэтому фоновое содержание тяжелых металлов в различных растениях является важным показателем.

В большинстве незагрязненных почв содержание одних и тех же химических элементов сильно не отличается. Несмотря на это диапазон колебаний достаточно велик, чтобы обусловить заметные различия в количестве любого химического элементов в растениях одного вида, но собранных на разных территориях. По абсолютному содержанию в растительном веществе тяжелые металлы можно разделить на четыре группы:

- элементы повышенной концентрации – Sr, Mn, Zn;
- средней - Cu, Ni, Pb, Cr;
- низкой - Mo, Cd, Se, Co, Sn;
- очень низкой - Hg.

У представителей разных видов наблюдаются значительные колебания содержания тяжелых металлов. Многочисленные исследования показывают, что химические элементы распределяются по органам растений неравномерно. Например, при исследовании злаковых растений установили, что цитоплазма пшеницы по сравнению с ядром, пластидами и митохондриями содержит повышенное количество Mn, Zn, Cu и Mo. Наименьшее количество этих элементов отмечено в митохондриях. Содержание тяжелых металлов в растениях на незагрязненной почве следует рассматривать как нормальное, или фоновое, зависящее от особенностей растений, а в случае одного вида – от условий окружающей среды, прежде всего от свойств почвы. Накопление тяжелых металлов в растительной массе в количестве, превышающем фон в 2-4 раза, еще не вызывает негативных последствий или же они очень незначительны (Ильин, 1991).

#### **1.4.2. Тяжелые металлы в растительности техногенно загрязненных территорий**

Увеличение содержания тяжелых металлов в почве ведет к возрастанию их концентрации в растениях. Реакции растений на избыток тяжелых металлов при техногенном загрязнении вызывает большой практический интерес, поскольку влияет на лесные массивы и сельскохозяйственные угодья. Воздействие на них тяжелых металлов вызывает снижение продуктивности лесов, ставит под сомнение качество производимой продукции растениеводства и животноводства. Наибольший интерес выращивание растений на загрязненной почве вызывает у специалистов следующие вопросы: размер и качество урожая сельскохозяйственных культур, содержание тяжелых металлов в растительной продукции, поиск ПДК тяжелых металлов в почве для растений, разработка агротехнических приемов по уменьшению поступления тяжелых металлов из почвы в

растения. Актуальность вопросов качества растительной пищи очень значима, так как исследования показывают, что накопление тяжелых металлов в организме человека осуществляется за счет пищи и меньше – за счет воды и воздуха. В исследованиях, касающихся растительности геохимических аномалий, была установлена неодинаковая способность одних и тех же тяжелых металлов проникать из почвы в надземные органы разных видов растений.

Особое значение приобретают сведения о наличии у растений свойств, с помощью которых они противостоят ионам-токсикантам. У растений выделено два пути приспособления к высокой концентрации тяжелых металлов: использование механизма, природа которого еще не до конца ясна, и инактивация поступивших в растения тяжелых металлов, их вывод в менее поражаемые компартменты.

Многочисленными опытами было установлено, что культурные растения при избытке тяжелых металлов способны в большей или меньшей степени защищаться. Важную роль в этом выполняет корневая система. Задерживая избыточные ионы, корни способствуют сохранению в наземных органах благоприятных концентраций химических элементов. В опытах с широким набором сельскохозяйственных культур, было показано, что корни аккумулируют ртуть при возрастании ее количества в почве.

Сходные данные получены в опытах с другими тяжелыми металлами. Например, при обогащении среды обитания кадмием в корнях томатов накапливается в 20- 30 раз больше тяжелых металлов, чем в плодах (Ильин, 1991).

### **1.5.Токсическое действие свинца и кадмия на здоровье человека**

Токсическое действие свинца значительно, так как все растворимые соединения этого элемента ядовиты. В малых порциях попадая в организм,

свинец задерживается в нем и постепенно замещает кальций, который входит в состав костей. В результате это приводит к хроническим заболеваниям (Эйхлер, 1993).

Основными путями поступления свинца в организм является дыхательная система и желудочно-кишечный тракт. В кровь всасывается 30-50% свинца, поступающего в дыхательные пути; и 10-45%, поступившего в пищеварительный тракт. Причем 50-60% свинца, поступившего в кровь, выводится через кишечник, остальное накапливается главным образом в костях. Ранние проявления интоксикации свинцом следующие: быстрая утомляемость, слабость, головные боли; ухудшение памяти, нарушение сна (Кавтарадзе и др., 2007).

Свинец вызывает обширные патологические изменения в нервной системе, крови, сосудах, активно влияет на синтез белка, энергетический обмен клетки и ее генетический аппарат. Свинец подавляет ферментативные процессы превращения порфиринов и кровообразование, ингибирует SH-содержащие ферменты: холинэстеразу, различные АТФ-азы; угнетает окисление жирных кислот, нарушает белковый, липидный и углеводный обмены, способен заменять кальций в костях.

Свинец нарушает деятельность сердечно-сосудистой системы, вызывая изменения электрической и механической активности сердечной мышцы, морфологические и биохимические изменения в миокарде с признаками сосудистой дегенерации, повреждения мышечной стенки сосудов и нарушение сосудистого тонуса.

Соединения свинца обладают канцерогенностью и генотоксичностью — они могут вызвать мутации, нарушая третичную структуру и функции ферментов синтеза и репарации ДНК (Теплая, 2013).

В организм человека кадмий попадает вместе с пищевыми продуктами, водой и воздухом. Дым от сигарет тоже поставляет кадмий в окружающую среду, так как табак во время роста очень активно поглощает кадмий из почв

и в больших количествах накапливается в почках (33%), печени (14%), легких (2%), а также в костях, мозге, мышцах и коже (Кавтарадзе и др., 2007).

Кадмий вошёл в число опасных загрязнителей биосферы, несмотря на невысокое мировое производство (около 14000 тонн в год). Связано это с очень высоким кумулятивным коэффициентом кадмия в человеческом организме.

В отличие от свинца, основное место локации кадмия – почки. При избытке металла в организме развивается болезнь итай-итай - это искривление и деформация костей, сопровождающееся сильными болями. Кадмий повышает кровяное давление и обладает канцерогенными свойствами. Особенно быстро к критическому порогу приходят курильщики, так как растения табака аккумулирует кадмий из почвы.

Основные симптомы при отравлении кадмием: воспаление суставов, снижение аппетита, сильные боли в пояснице и в мышцах ног, торможение роста костей. Кадмий – канцероген, вызывает рак легких и прямой кишки. Годами металл может накапливаться в почках, печени и поджелудочной железе (Эйхлер, 1993).

## **1.6. Морфо-биологическое описание и применение гороха посевного (*Pisum sativum*)**

Класс Покрытосеменные, или Цветковые (*Angiospermae*, или *Magnoliopsida*)

Подкласс Розиды (*Rosidae*)

Порядок Бобовоцветные (*Fabales*)

Семейство Бобовые (*Fabaceae*)

Род Горох (*Pisum* L.)

Вид Горох посевной (*Pisum sativum* L.) (Тимонина и др., 2009).



Горох возделывают как продовольственное и кормовое растение. Из сухих семян готовят супы и пюре. Гороховую муку смешивают с мукой из зерна хлебных злаков и пекут хлеб. Зеленый горошек и овощные сорта гороха используют в консервной промышленности.

Семена, зеленая масса и солома – высококачественный корм для животных. Горох отличается обширным ареалом возделывания (около 60 стран мира).

Ботанический род гороха *Pisum* L. включает несколько видов, из которых наибольшее распространение получили два: *P. sativum* L. – горох посевной и *P. arvense* L. – горох полевой. Горох – однолетнее или зимующее растение, имеющее стержневой, хорошо развитый корень. Стебель угловатый, полегающий, длиной от 20 до 250 см. у штамбовых форм утолщен в верхней части и не полегает.

Листья парноперистые, состоящие из 1-3 пар обратнойцевидных листочков, заканчивающихся усиками. Цветки одиночные или парные, у штамбовых форм до 4 на цветоносе. Плод – боб прямой или саблевидный с 3-10 семенами. Масса 1000 семян до 250г.

Горох – наиболее скороспелая зерновая бобовая культура. Период вегетации колеблется от 65 до 140 дней. Самоопыление происходит в фазе закрытого цветка, но в годы с жарким и сухим летом бывает открытое цветение, и может наблюдаться перекрестное опыление. Фаза цветения может продолжаться 10 - 40 дней. Вегетативный рост наиболее интенсивно протекает в период от бутонизации до цветения. Прирост зеленой массы достигает в период плодообразования.

Горох – светолюбивая культура длинного дня, при недостатке света наблюдается сильное угнетение растений. Лучшими почвами для его возделывания являются черноземные, среднесвязанные суглинки и супеси с нейтральной кислотностью.

Отзывчивость гороха на минеральные удобрения довольно высокая, действие удобрений зависит от физических и химических свойств почвы, ее влажности, способов и доз внесения удобрений. Поступление питательных веществ из почвы в растения происходит в течение всего вегетационного периода (Баранов, 1994).

### **1.7. Морфо-биологическое описание и применение пшеницы мягкой** **(*Triticum aestivum*)**

Класс Покрытосеменные, или Цветковые (*Angiospermae*, или *Magnoliopsida*)

Подкласс Лилииды, или Однодольные (*Liliidae*, или *Monocotyledones*)

Порядок Злакоцветные (*Poales*)

Семейство Мятликовые, или Злаки (*Poaceae*, или *Gramineae*)

Род пшеница (*Triticum* L.)

Вид пшеница мягкая (*Triticum aestivum* L.) (Тимонина и др., 2009).

Пшеница – наиболее важная зерновая культура, дающая почти 30% мирового производства зерна и снабжающая продовольствием более половины населения земного шара. Ее широкая популярность объясняется разносторонним использованием ценного по качеству зерна. Оно идет на производство муки, из которой готовят хлеб и другие продукты питания.

Пшеница представляет собой однолетнее прямостоячее злаковое растение высотой от 0,3 до 1,2 м. Размножается пшеница семенами, прорастающими 3-6 зародышевыми корнями, играющими большую роль в жизнедеятельности растения. При появлении 4-5 листьев из подземного узла кущения начинает формироваться вторичная корневая система. Она мочковатая, неширокая, иногда корни проникают на глубину до 1 м и больше. Боковые побеги появляются из узла кущения несколько раньше узловых корней. Всего образуется от 1 до 6 побегов.

Побег – полая соломина, разделенная узлами на междоузлия, длина которых возрастает вверх по стеблю. Междоузлия снизу плотно охвачены влагалищами листьев, которые сверху расходятся и переходят в линейные листовые пластинки шириной 1-2 см, длиной от 20 до 37 см. По окончании фазы кущения начинается интенсивный рост стеблей за счет последовательного удлинения междоузлий снизу вверх. В процессе стеблевания соцветие поднимается по стеблю и выходит из влагалища верхнего листа, растение вступает в фазу колошения. Колос длиной 5-10 см состоит из стержня, на каждом уступе которого сидит по колоску в 2 параллельных рядах, сверху он заканчивается колоском. Колоски состоят из 2 колосковых чешуй и нескольких цветков, каждый из которых заключен в 2 цветковые чешуи. У остистых колосьев наружная чешуя несет ость. Цветок состоит из завязи с семяпочкой, 2 перистых рылец и 3 тычинок. Цветение наступает вслед за колошением. Оно начинается с центра колоса, затем распространяется вверх и вниз. Цветение может быть закрытым или открытым. С наступлением цветения рост стебля увеличивается (Баранов, 1994).

## ВЫВОДЫ

1. Площади основных клеток эпидермы листа гороха посевного (*Pisum sativum*) под влиянием солей кадмия имели меньшие значения по сравнению с контролем, особенно в варианте 2 (ПДК-2). По степени уменьшения средних величин площади клеток эпидермы листа можно расположить в следующий ряд: контроль > вариант 1 (ПДК) > вариант 2 (2ПДК). Под влиянием солей свинца значения площади основных клеток эпидермы листа гороха посевного изменялись незначительно. По степени уменьшения значений можно расположить в следующий ряд: вариант 2 (2ПДК) > контроль > вариант 1 (ПДК).

2. Как под влиянием солей кадмия, так и свинца наблюдалось уменьшение величин площади эпидермальных клеток листа пшеницы мягкой (*Triticum aestivum*) по сравнению с контролем, это можно представить в виде следующих рядов:

Cd: контроль > вариант 2 (2ПДК) > вариант 1 (ПДК)

Pb: контроль > вариант 1 (ПДК) > вариант 2 (2ПДК).

3. В целом можно отметить, что внесение возрастающих доз солей тяжелых металлов вызывает уменьшение средних значений площади основных клеток эпидермы. В результате проведенного эксперимента было выявлено, что соли кадмия оказывают более негативное влияние на размеры площади клеток эпидермы листа гороха посевного (*Pisum sativum*) и пшеницы мягкой (*Triticum aestivum*), чем соли свинца.

Площадь основных клеток листа эпидермы гороха посевного (*Pisum sativum*) и пшеницы мягкой (*Triticum aestivum*) можно использовать в качестве биоиндикатора уровня загрязнения почвенной среды.

### Список использованной литературы

- Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.:Агропромиздат. 1987. 142 с.
- Авраменко И. М. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Ленинград: Агропромиздат,1987. 140 с.
- Баранов В. Д., Устименко Г. В. Мир культурных растений. Справочник. М.: «Мысль». 1994. 381 с.
- Барыкина Р. П. и др. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы. М.: изд-во МГУ. 2004. 312 с.
- Башмаков Д. И., Лукаткин А. С. Эколого-физиологические аспекты аккумуляции и распределения тяжелых металлов у высших растений. Саранск: Мордов. ун-т. 2009. 236 с.
- Безуглова О. С., Орлов Д. С. Биогеохимия. Ростов н/Д: "Феникс". 2000. 320 с.
- Большаков В. А., Гальпер Н. Я., Клименко Г. А., Лычкина Т. И., Башта Е. В. Загрязнение почв и растительности тяжелыми металлами. М.: изд-во ВНИИИиТЭИсельхоз. 1978. 54 с.
- Ботаника: в 4т. Т. 4. Систематика высших растений: учебник для студ. высш. учеб. заведений. В 2 кн. / под ред. А.К. Тимонина. – Кн.2 / А. К. Тимонин, Д. Д. Соколов, А. Б. Шипунов. М.: издательский центр «Академия». 2009. 352с.
- Виноградов А. П. Основные закономерности в распределении микроэлементов между растениями и окружающей средой//Микроэлементы в жизни растений и животных. М.: Наука, 1985. С.7 – 20.
- Головатый С. Е. Поступление кадмия в сельскохозяйственные растения / С. Е. Головатый, П.Ф. Жигарев, Л.И. Панкратская //Агрохимия. 2000.№1. С.81– 85.
- Добровольский В. В. и др. Свинец в окружающей среде. М: «Наука», 1987. 289 с.
- Доклад о свинцовом загрязнении окружающей среды Российской Федерации и его влиянии на здоровье населения. М.: РЭФИА, 1997

Загрязнение воздуха и жизнь растений / Под ред. М. Трешоу. Перевод с англ. Л.: Гидрометеиздат. 1988. 429 с.

Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука. 1984. 424 с.

Золотарёва Б. Н., Скрипниченко И. И. Содержание и распределение тяжёлых металлов (свинца, кадмия и ртути) в почвах Европейской части СССР//Тенезис, плодородие и мелиорация почв. Пущино, 1980. С.77-90.

Зырин Н. Г., Соколова Т. А. Сорбция свинца и состояние поглощённого элемента в почвах // Почвоведение. 1986 №4. С.39-46

Ильин В. Б. Кадмий в почве // Химизация сельского хозяйства. 1991. №9. С.25-38.

Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. Новоси- бирск: Наука. 1991. 150 с.

Кабата А. – Пендиас, Х. Пендиас. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир. 1989. 439 с.

Кавтарадзе Д. Н., Николаева Л. Ф., Поршнева Е. Б., Фролова Н. Б. Автомобильные дороги в экологических системах (проблемы взаимодействия). М.: «Трансдорнаука». 2007. 240с.

Колесников С. И. Влияние загрязнения тяжёлыми металлами на эколого–биологические свойства чернозёма обыкновенного / С. И. Колесников, К. Ш. Казеев, В.Ф. Вальков // Экология. 2000. № 3. С. 193–201

Левин С. В. Тяжелые металлы как фактор антропогенного воздействия на почвенную микробиоту / С. В. Левин, В. С. Гузев И. В. Асеева и др. // Микроорганизмы и охрана почв. М.: МГУ, 1989. С. 5–46.

;Лозановская И. Н., Орлов Д. С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: «Высшая школа», 1998. 240 с.

Матвеев Н. М. и др. Экологические основы аккумуляции тяжелых металлов сельскохозяйственными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Изд-во «Самарский университет». 1997. 386 с.

Нестерова А. Н. Действие тяжелых металлов на корни растений. Поступление свинца, кадмия и цинка в корни, локализация металлов и механизмы устойчивости растений // Биол. науки. 1989. № 9. С. 72–86

Орлов, Д. С., Малинина, М. С., Мотузова Г.В. Химическое загрязнение почв и их охрана: Словарь - справочник. / Д. С. Орлов, М. С Малинина, Г. В. Мотузова и др. М.: Агропромиздат. 1991.303с.

Понизовский А. А., Студеникина Т. А. Поглощение ионов меди (II) почвой и влияние на него органических компонентов почвенных растворов //Почвоведение. 1997-№7. с 850-859.

Серёгин И. В., Иванов В.Б. Гистохимические методы изучения распределения кадмия и свинца в растениях. //Физиология растений. 1997. С. 44.

Серегин И. В. Распределение тяжелых металлов в растениях и их действие на рост: Дисс. ... д-ра биол.наук. М. 2009. 333с.

Скорбач В. В., Жиликова М. Н. Влияние загрязнения окружающей среды на основные эпидермальные клетки липы сердцевидной, или мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) на примере г. Белгорода // Научные ведомости серия Естественные науки. 2009. № 11 (66). С. 40-44.

Теплая Г. А. Металлы как фактор загрязнения окружающей среды // Астраханский вестник экологического образования. 2013. №1 (23). С.182-192.

Трахтенберг, И. М. Тяжелые металлы во внешней среде: Современные гигиенические и токсикологические аспекты / И. М. Трахтенберг. Минск: Наука и техника. 1994. 286с.

Уткин А. А. Тяжелые металлы (цинк, свинец и кадмий) в системе: торфяная низинная почва - растение :Дис. канд. с.-х. наук . СПб.-Пушкин, 2004. 180 с.

Школьник М. Л., Алексеева-Попова Н. В. Растения в экстремальных условиях минерального питания. Эколого-физиологические исследования. Л.: Наука, 1983. 176 с.

Эйхлер В. Яды в нашей пище. М.: «Мир», 1993