



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра геоэкологии, природопользования и экологической безопасности

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему Анализ загрязнения почв тяжелыми металлами на территории парка им. Бабушкина в Невском районе г. Санкт-Петербурга

Исполнитель Егорова Дарья Андреевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат биологических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Рижия Елена Яновна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Дроздов Владимир Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

«00» 06 2022 г.

Санкт-Петербург,
2022

Оглавление

Введение	4
1. Обзор литературы	6
1.1. Проблемы загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами	6
1.2 Городские парки как объект экологического мониторинга	7
1.2.1 Тяжелые металлы	8
1.2.2 Основные источники поступления тяжелых металлов почву	9
1.2.3 Содержание ТМ в почвах.....	11
1.3 Влияние ТМ на живые организмы, в том числе на человека	16
2. Физико-географическое описание Невского района г. Санкт-Петербург	18
2.1. Климат	18
2.2. Геология и рельеф	20
2.2.1. Геология.....	20
2.2.2. Рельеф.....	21
2.3. Гидрология	21
2.4. Почвенный покров	22
2.5. Растительный и животный мир	23
3. Объекты и методы.....	24
3.2. Древесная растительность территории парка Бабушкина.....	25
3.3. Почва парка	26
3.2. Методы	30
3.2.1. Схема отбора образцов	30
3.2.2. Методики определения основных физических и химических свойств.....	31
3.2.2.1. Определение гранулометрического состава образцов почвы.....	31
3.2.2.2. определение pH по методу ЦИНАО	31
3.2.2.3. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО.....	32
3.2.2.4. Определение органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО..	32
3.2.2.5 Методика выполнения измерений массовой доли кислоторастворимых форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом....	32
3.2.2.6 Оценка уровня химического загрязнения почв как индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения.	32
3.2.2.7 Статистика	33
4. Полученные результаты.....	34
4.1. Содержание кобальта в почве парка	35
4.2. Концентрация свинца.....	37

4.3. Концентрация меди.....	39
4.4. Концентрация кадмия.	41
4.5. Концентрация цинка.	43
5. Рекомендации.....	47
Заключение.....	48
Список литературы	50
Приложения	55

Введение

В городах в настоящее время проживает большая часть населения планеты и экологические проблемы городской среды остаются актуальными для каждого его жителя. Пристальное внимание уделяется химическому, физическому и биологическому загрязнению атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почв и растительного покрова. Особое место среди перечисленных проявлений принадлежит химическому загрязнению тяжелыми металлами, которые являются приоритетным загрязняющим веществам из-за их повышенного отрицательного влияния на жизнедеятельность живых организмов. Наблюдения за данными химическими элементами обязательны во всех средах, в том числе и в таком сложном объекте как почва. Поступление тяжелых металлов в почву главным образом обусловлено выбросами автотранспорта и воздействием различных промышленных предприятий, находящихся поблизости исследуемой территории.

В условиях повышения техногенеза, покрытые растительностью пространства города служат средством частичной нейтрализации негативного воздействия отрицательных факторов жизни на урбанизированных территориях. Городские леса, парки, сады, озелененные территории жилых и промышленных районов, бульвары, скверы, защитные зоны, каналы, водохранилища и т.п. относятся к природно-антропогенным объектам, и решают ряд экологических проблем, в частности снижения запыленности и загазованности воздуха, снижения шума, улучшения параметров теплового и влажностного режимов микрорайонов города. Парки являются средой обитания и развития представителей флоры и фауны, и главным образом служат для обеспечения массового, активного и содержательного отдыха жителей города.

Необходима комплексная система слежения за изменением природной среды парков, которая включает в себя такую важнейшую составляющую как почвенно-экологический мониторинг и, в частности, изменение содержания

тяжелых металлов, среди которых наиболее важными элементами являются цинк, свинец, медь, ртуть, никель, кадмий. Поэтому, анализ загрязнения почв тяжелыми металлами на территории парка им. Бабушкина в Невском районе г. Санкт-Петербурга является актуальной темой исследования.

Цель бакалаврской работы - исследовать уровень содержания, распределения и концентрирования тяжелых металлов (Zn, Pb, Cu, Cd, Co) в почвах городского парка им. Бабушкина в Невском районе г. Санкт-Петербурга.

Задачи:

1. Анализ почвенных условий парка.
2. Изучение древесно-кустарниковой растительности.
3. Определение количественных и качественных показателей тяжелых металлов в почве парка.
4. Рекомендации по рекреационной оценке возможного использования территории объекта

1. Обзор литературы

1.1. Проблемы загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами

Тема загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами не раз обсуждалась в мировом сообществе, но придалась большой огласке. Лишь ближе к концу XX-го столетия, когда людям пришло осознание того, насколько велико значение химических элементов со свойствами металлов на организм человека, начался активный мониторинг сред на их содержание. Появилась необходимость в улучшении и поддержании состояния воздушной, водной и почвенной среды из-за высокой токсичности биохимически активных элементов, к которым относятся тяжелые металлы. Еще в 50–60-х годах XX века парламенты многих стран приняли строгие законы, направленные на повышение качества жизни, включая меры по очистке почвы, воздуха и воды при загрязнении ТМ [29].

Особое внимание уделяется мониторингу тяжелых металлов в почвах, важнейшее значение которых состоит в аккумуляции органического вещества, различных химических элементов, а также энергии. Почвенный покров выполняет функции биологического поглотителя, разрушителя и нейтрализатора различных загрязнений. Если это звено биосферы будет разрушено, то сложившееся функционирование биосферы необратимо нарушится. Именно поэтому чрезвычайно важно изучение глобального биохимического значения почвенного покрова, его современного состояния и изменения под влиянием антропогенной деятельности. Тяжелые металлы — самые распространенные загрязнители почв, куда они активно попадают из-за антропогенной деятельности, в частности из-за добычи и переработки металлических руд, сжигания ископаемого топлива, использования удобрений, включая осадки сточных вод и пестицидов, транспорта и многих других промышленных процессов. Если они содержатся в почвах в небольших количествах, то рассматриваются как микроудобрения, необходимые для роста и развития растений. Но при более высоких концентрациях, такие металлы, как

хром (Cr), ртуть (Hg), мышьяк (As), свинец (Pb) и кадмий (Cd) токсичны для большинства живых организмов (Wang et al., 2021). Повышенное накопление концентраций тяжелых металлов в почвах представляет собой серьезную экологическую угрозу и одну из наиболее острых экологических проблем в мире [38], [5].

Традиционно формы тяжелых металлов в почвах анализировали косвенно, путем химического анализа, а затем с участием термодинамических методов. Но в последние полтора десятка лет наблюдается заметный прорыв в изучении химии и минералогии тяжелых металлов и металлоидов, обеспеченный развитием прямых спектроскопических методов [5].

В последние годы изучение тяжелых металлов в почве происходит в двух направлениях – интенсивное и экстенсивное. Интенсивное подразумевает развитие учений о химии и минералогии тяжелых металлов, а экстенсивное выражается в расширении количества рассматриваемых тяжелых металлов [6].

1.2 Городские парки как объект экологического мониторинга

Население городских поселений на планете Земля ежегодно возрастает, и ожидается, что к 2050 году более 60% населения мира будет проживать в крупных населенных пунктах. Городские парки обеспечивают ряд экосистемных услуг, важных для благополучия горожан, их наличие является естественным решением многочисленных экологических проблем. Существует огромное количество преимуществ наличия «зеленых уголков природы» в городе, которые поддерживают благополучие человека, способствуя уменьшению его стресса и сохранению здоровья. В контексте пандемии COVID-19 наличие городских парков стало важной основой для обеспечения базовой поддержки людей, находившихся в стрессовой ситуации. Наиболее распространенное определение сочетание слов «городской парк» расшифровывается как общественный участок рекреационной земли в городе, который включают в себя по крайней мере некоторую растительность.

Почти все парки и сады Санкт-Петербурга составляют часть зелёных насаждений города, занимающих около 40 % территорий. Общая площадь превышает 31 тысячу га, в их числе 68 парков, 166 садов, 730 скверов, 232 бульвара, 750 озеленённых улиц.

Парки города расположены в различных ландшафтных условиях. Например, парки Стрельны, Петергофа и Ломоносова - на нижней и верхней террасах побережья Финского залива. На моренной равнине располагаются парки города Пушкина, а камовых холмах - Шуваловский парк и Осиновая Роща. В городе насчитывается некоторое количество парков, представленных естественными лесами, такие как Сосновка и Удельный парк, а также созданные в послевоенные годы, где древесная растительность фактически отсутствовала. Примерами таких парков являются Московский парк Победы и Приморский парк Победы [26].

Загрязнение городских почв ТМ, расположенных на территориях парков, приобретает характер глобальной экологической проблемы из-за разнообразия техногенных источников, активного включения металлов в процессы биогеохимической миграции и их токсичности для живых организмов.

1.2.1 Тяжелые металлы

Тяжелые металлы – это биохимические активные элементы, представляют собой цветные металлы, атомная масса которых больше 50, а плотность более 8 г/см³, и одной из наиболее опасных способностей которых является воздействие в большей степени на живые организмы [31]. На сегодняшний день к тяжелым металлам относят более 40 элементов периодической таблицы Д. И. Менделеева.

Сами металлы, в свою очередь, могут подразделяются на тяжелые и сверхтяжелые металлы. У последних атомная масса больше 140. А по классификации Н. Реймерса, тяжелыми считаются металлы с плотностью более 5 г/см³ [7].

Тяжелые металлы характеризуются особенностью к антагонистическому и синергетическому поведению, то есть наличие одного металла может влиять на другой металл, увеличивать или снижать его токсичное действие [29].

1.2.2 Основные источники поступления тяжелых металлов почву

Тяжелые металлы являются особыми опаснейшими веществами, при высоких концентрациях вызывающие загрязнение почв, поэтому крайне необходимо производить наблюдения за ними во всех средах [30]. Почва – это основная среда, куда поступают тяжелые металлы, так как она находится в постоянном взаимодействии с другими экологическими системами – атмосферной, гидросферой и растительным миром. Из почвы металлы усваиваются растениями, которые затем попадают в пищу [16].

Поступление тяжелых металлов в окружающую среду, а в дальнейшем в почву может быть связано с активной деятельностью человека или же с естественным поступлением, которое возникает в результате природных процессов в биосфере, происходящих без вмешательства человека и приводящих к поступлению в почву химических веществ из атмосферы, литосферы или гидросферы [1]. Почвы могут загрязняться в результате выбросов из промышленных зон, хвостохранилищ, удаления отходов с высоким содержанием металлов, этилированного бензина и красок, внесения удобрений, навоза, осадка сточных вод, пестицидов, орошения сточными водами. Почвы являются основным стоком тяжелых металлов, выбрасываемых в окружающую среду в результате вышеупомянутой антропогенной деятельности, и в отличие от органических загрязнителей, которые окисляются до оксида углерода (IV) под действием микробов, большинство металлов не подвергаются микробному или химическому разложению, а их общая концентрация в почвах сохраняется длительное время после их внесения. Однако возможны изменения их химических форм (видообразования) и биодоступности. Присутствие токсичных

металлов в почве может серьезно замедлить биodeградацию органических загрязнителей [36].

Химические загрязнители почв подразделяются на четыре класса опасности: I - чрезвычайно опасные (суперэкоотоксиканты), II – высоко опасные (экоотоксиканты), III - умеренно опасные (экоотоксиканты) и IV – малоопасные (ксенобиотики). По основному количеству источников загрязняющих веществ определены зоны потенциального риска химического загрязнения почв Ленинградской области и Санкт-Петербурга (рис.1).

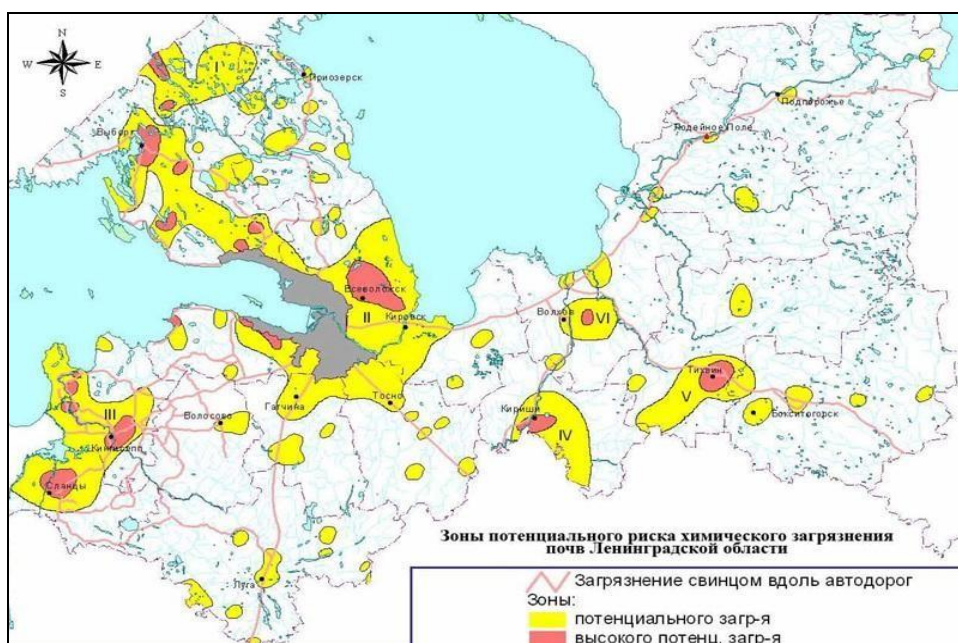


Рисунок 1 - Карта расположения зон потенциального риска загрязнения почв Ленинградской области

Наиболее значимые источники, загрязняющих почвы Санкт-Петербурга:

(1) воздушная авиация - на уровне озонового слоя и загрязнение атмосферы при сгорании топлива работы двигателей самолетов

(2) транспорт - отработавшие газы двигателей, выбросы в атмосферу канцерогенных и вызывающих различные заболевания веществ, накопление отходов производства и потребления от транспортных предприятий

(3) слив сточных вод от стационарных источников, осадки от водопроводных и канализационных станций очистки вод

(4) образование твердых отходов разных классов опасности, городские свалки, полигоны для твердых бытовых отходов

(5) захламление территорий производственными отходами, строительным и бытовым мусором

(6) тепловые электростанции, работающие на твердом топливе

(7) объекты сельскохозяйственного производства [17];

Основные предприятия, оказывающие негативное влияние на почвы территорий районов Санкт-Петербурга: ФГУП «Адмиралтейские верфи»; ОАО «Балтийский завод»; ФГУП «Северная верфь»; Филиал ОАО «Силовые машины» «Ленинградский металлический завод»; Филиал ОАО «Силовые машины» «Электросила»; ОАО «Завод «Электропульт»; ОАО «Кировский завод»; ОАО «Ижорские заводы»; ОАО ХК «Ленинец» [17].

1.2.3 Содержание ТМ в почвах

У почвы есть способность прочно связывать тяжелые металлы. Часто такое происходит в тяжелосуглинистых и глинистых почвах, содержащий большое количество гумуса. При таком раскладе грунтовые и питьевые воды предохраняются от загрязнения, ведь металлы туда не поступают. Получается, что сама почва постепенно загрязняется все более и более интенсивно, и в дальнейшем может произойти разрушение органического вещества с сопровождением попадания в почвенный раствор тяжелых металлов. И как итог, такая загрязненная почва для сельскохозяйственного использования уже не подойдет [5].

Если почвы песчаные, и содержат мало гумуса, то они, наоборот, слабо связывают тяжелые металлы, и поэтому довольно устойчивы против

загрязнения. Тяжелые металлы в самой почве не задерживаются, легко попадают к растениям или фильтруются через воды. На таких почвах возрастает опасность загрязнения растений и подземных вод. И в итоге получается, что легко загрязняющиеся почвы предохраняют окружающую среду, но почвы, устойчивые к загрязнению, не обладают защитными свойствами в отношении живых организмов и природных вод [30].

В почвах тяжелого гранулометрического состава, как правило, обнаруживаются более высокие концентрации тяжелых металлов, а песчаные и супесчаные почвы в меньшей степени накапливают их. Значительное влияние оказывают кислотно-основные свойства почв. В условиях кислой среды нерастворимая часть фракции металлов переходит в растворимые формы, тем самым их концентрация в кислых почвах может возрастать [31].

Наибольшую угрозу в экосистеме почв представляют следующие металлы, разделенные по классам гигиенической опасности, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание тяжелых металлов по классам опасности

Класс опасности	Элементы
I (высоко опасные)	Pb, Cd, Zn, As, Be Hg, Sn, F
II (умеренно опасные)	Cr, Co, B, Mo, Ni, Cu, Sb
III (мало опасные)	Ba, V, W, Mn, Sr

Рассмотрим подробнее наиболее типичные металлы и их характерные особенности.

Свинец (РЬ) – это чрезмерно токсичный, наиболее распространенный сверхтяжелый металл. Является наименее подвижным среди всех тяжелых металлов. Во время добычи свинца от одной тонны в окружающую среду может попасть до двадцати пяти килограммов. Выбросы выхлопных газов, атмосферные выпадения, образующиеся от работ промышленных предприятий,

преимущественно металлургическими, и автотранспорта, добыча свинцовых руд непосредственная близость от автомобильных дорог – это основные источники попадания большого количества свинца в почвенный покров. Особое внимание стоит уделить выбросам автотранспорта, так как 75%, содержащегося в бензине свинца выделяется в виде аэрозоля и рассеивается в воздухе. (Водяницкий, 2009)

Природное происхождение свинца в почвах города может быть представлено в виде силикатной пыли, вулканических газов, морских аэрозолей, метеоритной пыли. Во всех почвах накопление свинца происходит в верхнем гумусовом горизонте, который адсорбируется поверхностью глинистых частиц и органическими соединениями, а его содержание в почвенном растворе крайне мало. Свинец обладает способностью образовывать прочные комплексы как с минеральной, так и с органической фазами почв [35].

Цинк (Zn) – металл, токсичность которого высокая, он относится к первому классу опасности. Главными источниками поступления цинка являются цинковые удобрения, осадки сточных вод, воздушная пыль и отходы промышленных производств, таких как цветная металлургия, а также коммунально-бытовые отходы и илы от городских очистных сооружений. В городах металл может попадать в почву в процессе истирания и эрозии различных поверхностей и деталей, обработанных цинком, износа шин. Загрязнение цинком также может проходить из-за работы плавильных заводов с устаревшей пирометаллургической технологией при так называемых выбросах масса пыли и дыма, обогащенных данным элементом [5].

За счет процессов выщелачивания и образования биомассы в поверхностных слоях почв атмосферное и антропогенное поступление цинка в почву превосходит его вынос с водными потоками. В случае, если складываются условия избыточного увлажнения, тогда вынос цинка будет намного выше, чем его поступление [7].

Подвижность цинка в почвах зависит от содержания глинистых минералов и величины водородного показателя pH. При увеличении pH металл переходит в органические комплексы и затем связывается почвой. Чаще всего цинк

накапливается в горизонтах почв с высоким содержанием гумуса и торфа. Это связано с тем, что данный металл может образовывать устойчивые формы с органическим веществом [7].

Мышьяк (As) – относится к высокотоксичным элементам первого класса опасности. Является естественным компонентом более 200 природных минералов и из-за их растворения, поступает в почву и почвенные воды. Мышьяк и все его соединения являются ядовитыми. В почве его содержание составляет в среднем несколько мг на кг, но в отдельных природных зонах может достигать нескольких десятков мг/кг. Особенно много мышьяка в вулканических породах [7].

Песчанистые почвы содержат в себе наименьшее количество мышьяка. Его концентрации в глинистых отложениях относительно велики. А самые максимальные концентрации обычно находятся в аллювиальных почвах или в почвах, которые обогащены органическим веществом. Наиболее подвижен в щелочной среде [7].

Металл может поступать в окружающую среду при обработке металлов, сжигании углеродсодержащих полезных ископаемых, работы геотермальных электростанций, добыча полезных ископаемых. Большое количество мышьяка содержится в отвалах руд.

Мышьяк может попадать в почву и естественным образом. Около трети выбросов мышьяка в атмосферу осуществляется из природных источников, появляясь в виде вулканических извержений или пожаров [11].

Селен (Se) – тяжелый металл, являющийся широко распространенным микроэлементом. Входит в состав более 60 минералов. В земной коре содержится, в среднем, около 0,05-0,09 мг/кг. В зависимости от своей концентрации может оказывать как токсичное, так и стимулирующее действие на почвенный покров.

Почвы с высоким содержанием селена обогащены глинистыми сланцами, песчаниками, известняками. Селеном обогащены осадочные породы,

минеральная часть угля, некоторые руды. При быстром выветривании это может приводить к накоплению селена в окружающей среде [3].

Источниками загрязнения почв селенов являются добыча полезных ископаемых, работа тепловых электростанций, сжигающие уголь, использование в сельском хозяйстве фосфатных удобрений, а также нефтепереработка. Селен накапливается в углях и горючих сланцах, где закрепляется органическим веществом [6].

В целинных черноземах, относящиеся к одному подтипу, селена содержится больше на 30-40%, чем в пахотных. В почвах, образованных на третичных глинах селена на 12-17% меньше, чем в образованных на четвертичных суглинках [3].

Ртуть (Hg) – тяжелый металл, относящийся к весьма редким элементам. Особенность ртути – легко изменять свое агрегатное состояние, превращаясь из жидкого состояния в газообразное, а также мигрировать в таком состоянии и в водных растворах. В земной коре металла содержится 0.08 мг/кг [1].

Высокое содержание ртути наблюдается в углях (до 27 мг/кг), фосфоритах и марганцевых рудах (до 1 мг/кг), а также в удобрениях, изготовленных из твердых бытовых отходов [6].

Ртуть является довольно сильным загрязнителем, это объясняется тем, что скорость ее поступления в различные ландшафты во много раз превышает скорость разложения и выноса. Органическое вещество, железо и сера – являются одной из причин накопления ртути в почве. Она накапливается в верхнем горизонте, потому что не подвергается вымыванию вглубь к нижним горизонтам. Это связано со способностью почвы сорбировать ртуть. В ландшафте в основном рассеивается, но в небольшом количестве может сорбироваться глинами и илами. Высокое содержание металла характерно для рисовых почв (почв, подверженных затоплению для выращивания рисовых культур) (около 0.3 мг/кг), а низкое в подзолистых и песчаных почвах, (0.05 мг/кг) [32].

Загрязнения почвы ртутью может быть обусловлено глобальными геологическими процессами во время природной техногенными путями и дегазации земли, то есть естественными испарениями. Естественные выбросы ртути могут достигать 25-12000 тонн в год [31]. Ртуть может присутствовать в почве из-за деятельности промышленного производства, из-за влияния мест, где захоранивают отходы золоторудных и ртутных рудников, а также металлургических и химических производств. Влияют и другие источники, такие как сжигание топлива и отходов, при переработке сырья [7].

1.3 Влияние ТМ на живые организмы, в том числе на человека

Опасность поступления в окружающую среду тяжёлых металлов определяется тем, что в отличие от органических загрязнителей, они не разрушаются, а меняют свою форму, переходя из одной в другую, а именно, включаются в состав солей, оксидов и металлоорганических соединений [30].

Загрязнение тяжелыми металлами влияет на фауну и микрофауну почвы. Почвенные микро- и макроорганизмы первые реагирует на появление загрязнителей и служат показателем состояния почв. Когда повреждается почвенный покров, в лесной подстилке падает численность насекомых, страдают почвенные беспозвоночные, часто можно заметить гибель дождевых червей [30].

В зоне загрязнения идет отбор наиболее выносливых видов, а также уменьшение их численности. Даже возможно появления новых видов организмов, которые до загрязнения почвы не существовали на данной территории [30].

Тяжёлые металлы влияют на рост, состояние и морфологию почвенных микроорганизмов. Почвенные микроорганизмы разлагают органическое вещество почвы. Избыток или недостаток микробов негативно влияет на способность растений поглощать питательные вещества из почвы. Повышенные концентрации тяжёлых металлов оказывают значительное влияние на численность популяции почвенных микробных сообществ. Проявление

токсического действия тяжелых металлов на живые организмы проявляется в том, что они легко связываются с сульфгидрильными группами белков, из-за чего в конечном итоге нарушается проницаемость мембран, что ведет к нарушению обмена веществ [1, 30].

На загрязненных почвах снижается их биохимическая активность. Уменьшается нитрифицирующая активность почв, замедляется минерализация азота. Из-за почвенного загрязнения снижается количество урожая и его качества, возможна гибель растений. От химического состава почвы зависит химический состав продуктов растительного и животного происхождения. Так тяжелые металлы способны воздействовать на организм человека, употребляющего загрязненные продукты в пищу. Поглощение тяжёлых металлов растениями и последующее накопление вдоль пищевой цепи представляет собой потенциальную угрозу для здоровья животных и человека. При поступлении металлов в организм человека с выращенной на загрязненных почвах продукцией в первую очередь подвергаются риску органы пищеварительной системы, а затем все остальные системы органов: нервная, сердечно-сосудистая, выделительная, половая. Поглощение корнями растений является одним из основных путей поступления тяжёлых металлов в пищевую цепь [30] Тяжелые металлы попадают в организм человека разными путями. (см. рисунок 2.)

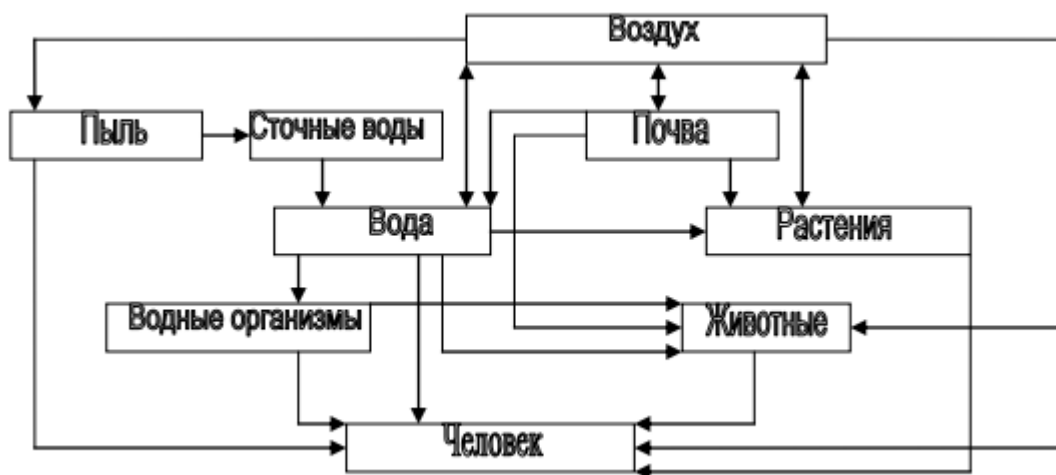


Рисунок 2 – Пути распространения загрязняющих веществ тяжелых металлов по пищевым цепочкам

Поглощение и накопление тяжёлых металлов в растительной ткани зависит от многих факторов: температуры, влажности, органического вещества, величины водородного показателя, питательных веществ [31].

Тяжелые металлы относятся к ядам. Их токсичность возрастает по мере увеличения атомной массы и проявляется по-разному, например, ингибируют деятельность ферментов (медь, ртуть). Некоторые металлы, такие как кадмий, медь, железо, взаимодействуют с клеточными мембранами, изменяя их проницаемость и другие свойства. В биомассе растений тяжелые металлы распределяются так: больше всего их скапливается в корнях, корнеплодах, клубнях, а меньше - в надземных зеленых органах и еще меньше - в плодах [31].

Некоторые тяжелые металлы конкурируют с необходимыми растениям элементами, нарушая их роли. Например, кадмий замещает цинк, что приводит к цинковой недостаточности, вызывает угнетение и гибель растений [30].

2. Физико-географическое описание Невского района г. Санкт-Петербург

Невский район — единственный район города, расположенный по двум берегам Невы, — находится на границе с Красногвардейским и Центральным районами на севере, Фрунзенским — на западе, Колпинским — на юго-востоке и Всеволожским районом Ленобласти — на востоке. Он занимает более 6 тысяч га городской территории, порядка сотни из которых — площадь жилой застройки.

Невский район делится на 9 муниципальных округов. Это Рыбацкое, Ивановский, Обуховский, муниципальные округа № 49 (Невская застава), 53 и 54, Невский, Оккервиль и Правобережный.

2.1. Климат

Климат – морской с чертами континентального, с умеренно мягкой зимой и умеренно теплым летом.

За многие годы наблюдений было выявлено, средняя годовая температура воздуха в Санкт-Петербурге составляет 5,6°C. Суммарное изменение среднегодовой температуры воздуха за весь период измерения температуры (с 1752 г.) составило 2°C, средней за зиму 3,4°C и средней за лето 0,5°C. При этом за последние 30 лет температура воздуха повысилась на 1,7°C в среднем за год: на 3,5°C зимой и на 1,5°C летом.

Поскольку количество выпадающих осадков примерно на 200-250 мм превышает испарение влаги, для Санкт-Петербурга характерна высокая влажность воздуха – около 80% (летом – 60-70%, а зимой – 83-88%). Число дней с относительной влажностью не менее 80% варьирует от 140 до 155.

Санкт-Петербург находится в зоне избыточного увлажнения, поэтому среднегодовая сумма осадков за последние 30 лет составляет 653 мм.

В течение года осадки выпадают неравномерно: большая их часть (67%) приходится на теплый период (апрель – октябрь, с максимумом в июле – августе) и только 33% – на холодный (минимум в феврале – марте).

При этом с декабря по февраль преобладают твердые осадки, с мая по октябрь – жидкие, а смешанные (мокрый снег или снег с дождём) не бывают только в июле и августе.

В северной части города и на севере пригородной зоны годовое количество осадков больше, чем в центральных районах, примерно на 11% и более чем на 20% соответственно. В устье Невы годовые суммы осадков, напротив, меньше, чем в центре, на 5-7%.

В таблице 3 представлено распределение количества осадков по месяцам на примере г. Санкт-Петербург.

Таблица 2 - Распределение количества осадков по месяцам на примере г. Санкт-Петербург

Месяц	Норма	Минимум/месяц, мм	Максимум/месяц, мм	Максимум/сутки, мм
Январь	44	4 (1909)	87 (2011)	23 (1955)
Февраль	33	3 (1886)	92 (1990)	13 (1990)
Март	37	0,7 (1923)	83 (1971)	26 (1971)
Апрель	31	6 (1965)	85 (1966)	29 (1991)
Май	46	2 (1978)	127 (2003)	56 (1916)
Июнь	71	8 (1889)	154 (1998)	44 (2004)
Июль	79	5 (1919)	166 (1979)	69 (2002)
Август	83	1 (1955)	191 (1933)	76 (1947)
Сентябрь	64	11 (1901)	178 (1912)	34 (1912)
Октябрь	67	5 (1987)	150 (1984)	37 (2003)
Ноябрь	56	2 (1993)	117 (2010)	31 (2010)
Декабрь	51	7 (1890)	112 (1981)	28 (2009)
за год	662	395 (1882)	842 (2003)	76 (1947)

Одной из основных характеристик осадков является их интенсивность. В холодный период года интенсивность их невелика – в среднем 0,2-0,4 мм/ч. В летние месяцы интенсивность возрастает до 1,1-1,3 мм/ч за счет ливневых осадков [34].

2.2. Геология и рельеф

2.2.1. Геология

Территория Санкт-Петербурга расположена в зоне сочленения Балтийского щита, который сложен породами кристаллического фундамента Русской платформы, образованной древними осадочными породами. Кристаллический фундамент, представленный, в основном, гранитоидным комплексом, имеет сложное блоковое строение и залегает на глубине от 140 м на западной окраине Курортной зоны до 300 м у южных границ города.

Самыми молодыми дочетвертичными образованиями, выходящими на дочетвертичную поверхность на крайнем юге города и имеющими весьма ограниченное распространение, являются породы наровского горизонта среднего девона, представленные мергелями и доломитами с прослоями глин.

Четвертичные отложения различного генезиса практически полностью перекрывают с поверхности территорию города. На большей части их мощность

не превышает 20-30 м. Четвертичные отложения отличаются частой литологической изменчивостью, как в плане, так и в разрезе.

Геологическое строение территории определяет характер изменения состояния ресурсов геологической среды по площади и по глубине, возможность их использования, необходимые ограничения антропогенной нагрузки на них [21].

В приложении А представлена геоморфологическая карта Санкт-Петербурга.

2.2.2. Рельеф

Санкт-Петербург расположен в Приневской низменности, которая относится к Восточно-Балтийской области низменных плоских озерно-ледниковых равнин. Между Финским заливом и Ладожским озером располагается плоская низина с отметками от 5 до 30 м над уровнем моря. С юга она граничит с глинтом, на севере - с уступами Рантоловского плато Токсовской камовой возвышенности.

Ступенчатость территорий Приневской низменности обусловлены влиянием водных бассейнов, таких как Балтийское ледниковое озеро, Иольдиевое море, Литориновое море. Из-за того, что в процессе своего формирования они сменяли друг друга при поднятии или опускании суши в короткое время, и получился такой рельеф.

С самого основания города и по наши дни меняется рельеф города, подсыпается грунт. Из-за намыва территории изменилась линия берега Финского залива.

В целом, территория Санкт-Петербурга является слаборасчлененной плоской низкой равниной с небольшим уклоном [33].

2.3. Гидрология

В современных границах Санкт-Петербурга ныне насчитывается 93 водотока (рек, ручьев, протоков и каналов) общей длиной около 300 километров. Кроме того, в черте города находится свыше 100 водоемов - озер, прудов и искусственных бассейнов. Сегодня в Петербурге 19 каналов, среди них наиболее известные - Обводный, Грибоедова, Гребной, Сальнобуянский, Матисов, Большой и Малый каналы на Каменном острове [24].

Основным и главным достоянием Санкт-Петербурга является река Нева. Это основная транспортная артерия города. Нева - широкая и глубокая река. Вытекает из Ладожского озера в районе Шлиссельбурга, протекает по Приневской низине, впадает в Финский залив (Балтийское море). Средняя ширина 400 - 600 м. Самые широкие места (1000--1250 м) - в дельте у Невских ворот Морского торгового порта в так называемой воронке рукава Большая Нева, у окончания Ивановских порогов при впадении реки Тосны и у острова Фабричный вблизи истока. Самое узкое место (210 м) -- напротив мыса Святки у начала Ивановских порогов. Средняя глубина 8-11 м; наибольшая глубина (24 м) (выше Литейного моста в Смольнинской излучине у правого берега, напротив Арсенальной улицы), наименьшая (4,0-4,5 м) - в Ивановских порогах.

Основа питания рек города составляют снега, дожди и подземные воды. В период весеннего половодья резко повышается уровень воды, так как снег тает. Когда наступает лето или зима, основным источником питания рек становятся подземные воды. Осенью и летом при длительных дождях, случаются паводки со значительным подъемом воды.

Для Санкт-Петербурга характерно близкое поверхностное (от 1 до 2(3) м) залегание грунтовых вод, которое оказывает влияние на почвообразовательные и ландшафтно-геохимические процессы. Отмечается, что водоносный горизонт в городе повсеместно загрязнен, минерализация воды обычно более 1 г/л, часто наблюдается повышенное содержание хлоридов, сульфатов, аммония, органических соединений, уголекислоты [15].

2.4. Почвенный покров

Санкт-Петербург расположен в южной подзоне тайги. Около 2% территории занимают переходные и верховые болота; основная часть торфяников осушена и разработана. Еще 44 км² занимают искусственные зелёные насаждения. Под хвойными лесами развиты различные варианты подзолов, под мелколиственными лесами и сельскохозяйственными угодьями – дерново-подзолистые и дерново-глеевые почвы. На заболоченных территориях преобладают торфянисто-глеевые и болотные торфяные почвы [27].

В местах, где сформировался травяной покров, образовались дерновые подзолы. Большей частью это районы смешанных лесов, где содержится известь, которая служит нейтрализатором кислотности. Почвенный слой меньше вымывается и накапливается плодородный гумус. Это самые плодородные грунты в Ленинградской области.

Городские почвы города в значительной степени преобразованы антропогенной деятельностью, и чаще всего представляют собой перемешанные насыпные слои различных грунтов с гумусовыми слоями, под которыми погребены естественные почвы. В современной классификации они относятся к урбоноземам, так называемые экраноземы (почвы, «запечатанные» дорожным покрытием) и урбостратоземы [37].

2.5. Растительный и животный мир

В Санкт-Петербурге растительный покров занимает до 40% всей площади города. Во многих парках города можно увидеть 200-летние дубы и вязы, клены и березы, вековые сосны и пихты.

Природа Санкт-Петербурга и Ленинградской области зависит от того, что регион находится в южной части зоны тайги, которой присущи суровые климатические условия. Только на юге области начинается пояс смешанных лесов. Густые хвойные и смешанные массивы леса занимают 70% всей территории области. Растительность зависит от типа почвы. На участках с суглинистыми сильноподзолистыми почвами в основном растут еловые леса из

ели европейской, в виде подлеска зеленые мхи, кислица, черника и иногда злаковые травы. Это север региона, где сохранилась дикая природа в своем первозданном виде с реликтовыми растениями.

В 2021 году на территории Санкт-Петербурга было выявлен заход таких животных, как косули, занесенные в Красную книгу Санкт-Петербурга, лоси и белки. Иногда в город забегают кабаны, лисицы, куницы, горностаи, зайцы [22].

3. Объекты и методы

3.1. Парк культуры и отдыха им. И. В. Бабушкина

Это один из первых парков Невского района Санкт-Петербурга. Был основан еще во времена правления Екатерины II на территории так называемой Невской заставы. Из имеющейся исторической справки известно, что для императрицы был построен охотничий замок и благоустроены близлежащие лесные массивы, кроме того, в окрестностях стали возводиться дачи приближенных царского двора Куракина, Чернова, Апраксина и др.

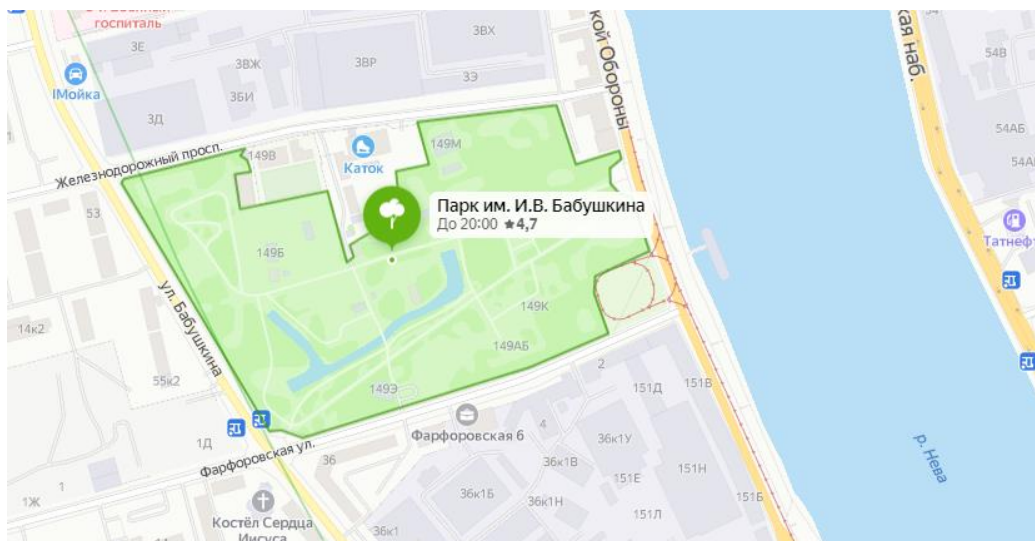


Рисунок 3 – Парк им. И.В. Бабушкина в Невском районе города Санкт-Петербурга

Парк расположен на левом берегу Невы, в квартале, ограниченном улицами Бабушкина, Фарфоровской и проспектами Железнодорожным и Обуховской Обороны. Площадь: 0,139 км²

На рисунке 3 представлено территориальное расположение парка им. Бабушкина. Парк является объектом, представляющим историческую, научную, художественную и культурную ценность, является любимым местом отдыха как жителей Невского района, так и других горожан, и гостей города. Любой посетитель может выбрать вид отдыха, который ему по вкусу – от простой прогулки по тенистой аллее до катания на лодке, т.к. внутри парка располагается небольшой замкнутый водоём. Основа его питания – подземные воды и дожди [18].

3.2. Древесная растительность территории парка Бабушкина

Данные по учету наземного растительного покрова представлены в табл.3

Таблица 3 – Декоративные деревья и кустарники, произрастающие на территории парка им. Бабушкина

№ п/п	Видовое название	Количество
1	Липа мелколистная (<i>Tillia cordata</i>)	46
2	Вяз шершавый (<i>Ulmus glabra</i>)	13
3	Береза повислая (<i>Betula pendula</i>)	43
4	Клен остролистный (<i>Acer platanoides</i>)	14
5	Тополь белый (<i>Populus alba</i> L.)	37
6	Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i>)	13
7	Ясень широколистный (<i>Fraxinus</i> L)	15
8	Ель серебристая (<i>Picea pungens</i>)	29

9	Из кустарников: акация, шиповник, орех, жасмин, спирея и сирень.	
Итого		210

Преобладающими породами являются липа, береза и тополь. Их доля от общего количества деревьев составляет 22, 20 и 18% соответственно. Они в настоящее время занимают верхний ярус.

В напочвенном покрове преобладают моховый покров, а также следующие злаки: Ежа сборная (*Dactylis glomerata*), Полевица тонкая (*Agrostis capillaris*), Вейник тростниковый (*Calamagrostis arundinacea*), Луговик дернистый (*Deschampsia caespitosa*), Мятлик луговой (*Poa pratensis*), травы – Купырь лесной (*Anthriscus sylvestris*), Ландыш майский (*Convallaria majalis*), виды нарушенных местообитаний – Гравилат городской (*Geum urbanum*), Крапива двудомная (*Urtica dioica*), Мать-и-мачеха (*Tussilago farfara*) и другие.

3.3. Почва парка

Объектом исследования данной дипломной работы являются почвенный покров парка им. Бабушкина. Естественные почвы на территории этого парка не сохранились, т.к. были погребены под насыпными слоями и представлены урбикстратоземом. Естественные почвы залегают под глубиной антропогенной толщи, которая колеблется до 145 см. Покров расположен на низменной приморской террасе, образованной во времена Литоринового моря (около 4 тысяч лет назад преобразованной рекой Нева).

Дневная поверхность преимущественно представлена мхами, злаковой и сложноцветной растительностью, встречаются прошлогодние листья, ветками



Ur 1 (урбик) – (0-28см) – серовато-бурый горизонт, гумусово-аккумулятивной, влажный, плотный, мелко и среднекомковатый, легкосуглинистый, пронизан корнями растений, включения – битые кирпичи, камни, стекло, поступившего в результате урбопедогенеза.

Рисунок 4 – Полуяма урбостратозема

Характеризуется примешенными слоями с наличием генетически не связанных, а также фрагментов антропогенных включений. Переход в следующий горизонт четкий по цвету, граница неровная;

В (28-45) – слои коричневого, серого и бурого цвета, влажный, крупнокомковатый, плитчатый, плотный, единичные корни, камни, кирпичи, угли, керамика.

В связи с тем, что цель исследования – изучения содержания тяжелых металлов в верхних слоях почв, более глубокие слои не были описаны. Общие представления о низ лежащих горизонтах брались из отчетов Гипрозем Санкт-Петербурга и Ленинградской области

В таблице 3 представлена химическая характеристика верхнего слоя гумусово-аккумулятивного слоя (0-10 см) урбикстратозема.

Таблица 4 – Химическая характеристика верхнего слоя гумусово-аккумулятивного слоя урбикстратозема

№ п/п	pH _{сол} , ед. pH	Калий подвижный (K ₂ O), мг/кг	Фосфор подвижный (P ₂ O ₅), мг/кг	Орг. в-во, %
-------	-------------------------------	---	--	-----------------

1	5,8	394	178	3,49
2	5,5	403	412	4,44
3	5,8	290	410	3,31
4	5,3	299	211	3,51
5	5,8	273	123	3,49
6	5,1	351	416	2,31
7	4,9	403	251	2,01
8	5,3	346	198	3,08

Как видно из представленной таблицы, почва на разных участках парка характеризовалась от слабокислой (участки 4, 6, 7 и 8), до близкой к нейтральной (участки 1, 2, 3 и 5) реакции среды, которая варьировала от 4,9 до 5,8.

Содержание калия, по данным таблицы, колебалось от 273 до 403 мг/кг. На участках 2 и 7 было максимальное содержание. Минимум наблюдался на участках 5 и 3.

Подвижный фосфор варьировался от 123 до 416 мг/кг. Максимум был выявлен на участках 2 и 6. Самое минимальное содержание оказалось на 5 участке.

В почве различных участков парка отмечается достаточно высокое содержание общего органического углерода. Содержание органического вещества в почвах города зависит от богатства перегноем того субстрата, из которых они образовались, а также от способа ухода за территорией. Максимальное количество С общ отмечено на участке 2, которое достигало 4,4%. Возможно, это связано с постоянным хранением на данном участке опавшей осенней листвы. В 2 раза меньше определено содержание данного показателя на участках 6 и 7 – в районе главного входа в парк и на месте детского парка аттракционов, которое достигало 2,3 и 2,01 %, соответственно.

Кроме того, для определения содержания ТМ в слоях почвы важно знать гранулометрический состав. В таблице 4 представлены результаты определения гранулометрического состава в образцах почвы с разных участков парка.

Таблица 5 - Гранулометрический состав верхнего слоя урбостратозема на разных участках парка

№ п/п	Гранулометрический состав		Краткое название по гран. составу
	Физический песок (>0,01)	Физическая глина (<0,01)	
1	77	23	легкосуглинистая
2	68	31	среднесуглинистая
3	67	33	среднесуглинистая
4	66	34	среднесуглинистая
5	64	36	среднесуглинистая
6	68	32	среднесуглинистая
7	76	24	легкосуглинистая
8	74	27	легкосуглинистая

Результаты исследования показали, что в основном верхний слой является среднесуглинистым, только участки 1, 7 и 8 – легкосуглинистыми.

3.2. Методы

3.2.1. Схема отбора образцов

При проведении исследования учитывались такие факторы как расположение объекта относительно транспортных магистралей, промышленных предприятий, рельеф территории, гидрологические особенности, наличие и характер развития древесно-кустарниковой и травянистой растительности.

Так как территория парка небольшая (всего 1,4 га), она была разбита на 8 участков в зависимости от предполагаемого влияния перечисленных факторов. Для исключения случайной ошибки, с поверхности, отбиралась проба методом «конверта». Материал сводных и объединенных проб тщательно перемешивался и квартовался до получения навески в 700-1000 г. Отбор выполнялся в соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.4.02-84 «Почвы. Методы отбора и подготовки проб. Отбор почвенных образцов производился с глубины 0-10 см (около 90% атмотехногенных поллютантов накапливается в самых верхних горизонтах (0—10 см) городских почв).



Рисунок 5 – Основные участки отбора образцов на тяжелые металлы

На каждом участке отбиралось до 20 точечных образцов, которые далее объединялись и смешивались в единый образец, весом до 1 кг. Образцы доставлялись в лабораторию, где они были просушены в естественных условиях, измельчены и просеяны через сито до 1,0 мм, для того чтобы отделить крупную минеральную составляющую, и подготовлены для дальнейшего анализа на валовые и подвижные формы тяжелых металлов.

3.2.2. Методики определения основных физических и химических свойств

3.2.2.1. Определение гранулометрического состава образцов почвы

При исследованиях гранулометрического состава почв применяли ситовой метод. Пробы почвы просеивали через набор сит с отверстиями разного диаметра: 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1. Каждую фракцию грунта, задержавшуюся на ситах, взвешивали и рассчитывали процентное содержание по отношению к общей массе грунта.

Для исследования гранулометрического состава суглинистых грунтов для частиц менее 0,1мм применяли ареометрический метод. Основан на зависимости, существующей между скоростями падения частиц и их размером.

Получив значения убывающей плотности через определенные промежутки времени, с помощью расчетных формул определяли процентное содержание частиц определенного размера [23].

3.2.2.2. определение pH по методу ЦИНАО

Сущность метода заключается в извлечении обменных катионов, нитратов и подвижной серы из почвы раствором хлористого калия концентрации 1 моль/дм³ (1 н.) при соотношении почвы и раствора 1:2,5 и потенциометрическом определении pH с использованием стеклянного электрода [12]..

3.2.2.3. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО

Подвижные формы соединений фосфора и калия выделялись из образцов почвы раствором 0,2 моль/дм соляной кислоты и последующем количественном определении на фотоэлектроколориметре, а калия - на пламенном фотометре [13].

3.2.2.4. Определение органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО.

Метод основан на окислении органического вещества раствором двуххромовокислого калия в серной кислоте и последующем определении трехвалентного хрома, эквивалентного содержанию органического вещества, на фотоэлектроколориметре [14].

3.2.2.5 Методика выполнения измерений массовой доли кислоторастворимых форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом.

Разбавление кислотных вытяжек позволяет определять металлы в растворе в оптимальной области разрешающей способности спектрофотометра. Для извлечения из почвы кислоторастворимых форм ТМ применяют 1 н. раствор азотной или соляной кислоты. Анализ проводился с использованием атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией [25].

3.2.2.6 Оценка уровня химического загрязнения почв как индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения.

Оценка проводится по показателям, разработанным при сопряженных геохимических и геогигиенических исследованиях окружающей среды городов с действующими источниками загрязнения. Такими показателями являются: коэффициент концентрации химического вещества (K_c).

K_c определяется отношением фактического содержания определяемого вещества в почве (C_i) в мг/кг почвы к региональному фоновому (C_{fi}):

$$K_c = C_i / C_{fi}$$

и суммарный показатель загрязнения (Z_c). Суммарный показатель загрязнения равен сумме коэффициентов концентраций химических элементов-загрязнителей и выражен формулой:

$Z_c = \text{сумма } (K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n-1)$, где n - число определяемых суммируемых вещества; K_{ci} - коэффициент концентрации i -го компонента загрязнения.

Для принятия административных решений о характере использования земель в разной степени, загрязненных химическими веществами, рекомендуется руководствоваться РД «Порядок определения ущерба от загрязнения земель химическими веществами» с учетом характера землепользования. Региональные фоновые значения представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Региональные нормативы фонового содержания тяжелых металлов в почвах ЛО, мг кг-1

№ зоны	Фоновые значения исследуемых показателей, мг/кг											
	НП	БП	As	Zn	Pb	Cd	Ni	Co	Mn	Cu	Cr	Hg
I	175	0,035	2,51	35,0	16,2	0,15	13,7	3,10	116,2	17,6	11,7	0,06

3.2.2.7 Статистика

В ходе выполнения работы были рассчитаны показатели описательной статистики, такие как среднее, доверительный интервал, стандартное отклонение, минимум и максимум при помощи статистической программы Excel.

4. Полученные результаты

Проводилась комплексная оценка и мониторинг изменений диагностических показателей содержания тяжелых металлов в почвенном покрове, протекающая под влиянием антропогенно-техногенного воздействия. Оценка позволяет установить оптимальные и критические значения ТМ для поддержания нормального функционирования урбоэкосистем, на основании которой возможно применить своевременные меры по поддержанию их устойчивости и восстановлению. Городские почвы парка им. Бабушкина представляют собой единый функционирующий почвенный объект - урбостратоземы. Т.к. парк небольшой, и занимает всего около 1,4 га, то весь парк был разделен на 8 равных участков.



Рисунок 5 – Разделение на участки парка им. Бабушкина

Далее разберем подробно каждый металл, изучим уровень содержания, распределения и концентрирования в почвах крупного городского парка им.

Бабушкина в Невском районе г. Санкт-Петербурга. Анализ будем проводить по выделенным ранее зонам. Сравним полученные результаты с нормативами ПДК и ОДК. После рассчитаем суммарный показатель загрязнения парка. При контроле за состоянием почв преимущество следует отдавать ПДК.

- Для контроля за состоянием почв могут быть использованы нормативы, установленные для различных форм химических веществ в почве: валовых, подвижных или водорастворимых.

- При оценке состояния почв фактическое содержание вещества сравнивается с их ОДК (ПДК) для той формы вещества в почве, которая определялась при проведении исследования.

- При наличии аналитических данных по разным формам содержания вещества (валовые, подвижные, водорастворимые) оценку проводят по более «жесткому» нормативу.

Общую загрязненность почвы характеризует валовое содержание тяжелых металлов, а доступность элементов для растений определяется их подвижными формами. Загрязнение подвижными формами ТМ является наиболее опасным явлением, так как именно в такой форме они могут ассимилироваться растениями и поступать в пищевые цепи.

Валовые формы ТМ представляются как потенциальный резерв подвижных элементов, которые активно участвуют в биологическом круговороте. Он характеризует общую загрязненность почвы, но не отражает степени доступности элементов для растений

4.1. Содержание кобальта в почве парка

Кобальт принимает активное участие в осуществлении важнейших физиологических и биохимических процессов в системе почва-растение-человек, и его недостаточная или избыточная насыщенность в почвах, растениях, рационе человека или животных может сопровождаться проявлением токсичных последствий. По уровню фитотоксичности кобальт занимает третье место среди

металлов после кадмия и меди. Поэтому кобальт является опасным загрязнителем несмотря на то, что он, как правило, не поступает в больших количествах в окружающую среду. Элемент достаточно легко поглощается в виде двух- и трехвалентных катионов.

Изучение участков парка по валовому содержанию данного элемента представлено на рисунке 6.

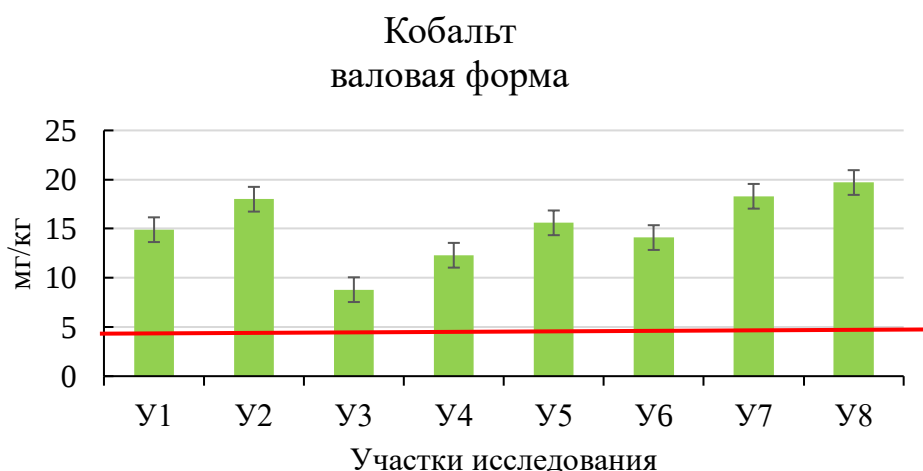


Рисунок 6 – Концентрация кобальта в верхнем слое (0-10 см) урбостратозема парка им. Бабушкина на разных его участках.

Результаты анализа валовых форм показали, что количество кобальта в почве парка существенно изменялось в пространстве и варьировало от 8.8 до 19.7 мг/кг. Максимальное количество данного элемента установлено на участках парка 7 и 8 – непосредственно примыкающих к улице Бабушкина, а также на участке 2, примыкающей к проспекту Обуховской обороны. При этом зафиксировано, что весь почвенный покров превышает ПДК по данному элементу в почвах (Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве, Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06). Минимальное превышение установлено на участке 3 – в 1,7 раза ПДК, а на участках с максимальным количеством – в 3,6 – 4 раза ПДК.

Эти данные согласуются с другими исследованиями почв города, в которых показано, что придорожные почвы, и уличная пыль характеризуются повышенным содержанием кобальта.

Более опасная для окружающей среды – подвижная (водорастворимая) форма. Именно данной формой тяжелых металлов определяется доступность элементов для растений. Поэтому содержание в почве подвижных форм тяжелых металлов – важнейший показатель, характеризующий санитарно-гигиеническую обстановку и определяющий необходимость проведения мелиоративных детоксикационных мероприятий. На рисунке 7 представлено содержание подвижного кобальта на участках изучаемой почвы.

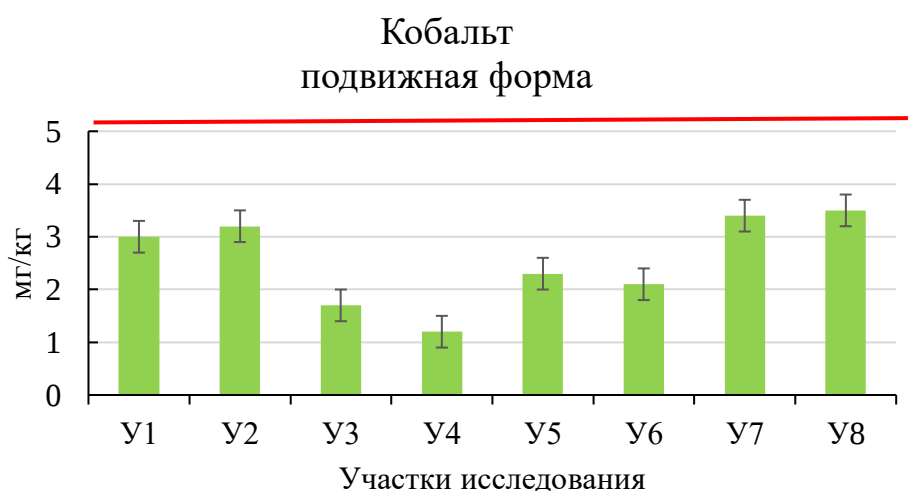


Рисунок 7 – Содержание подвижного кобальта в урбикстратоземе парка им. Бабушкина.

Как видно из представленного рисунка, концентрация кобальта в водорастворимой вытяжке существенно варьировала, но не превышала значения ПДК по данному элементу в почвах. Также как и с концентрацией валового содержания, максимальное количество водорастворимого кобальта установлено на участках 7 и 8, которое достигало 3,3 – 3,4 мг/кг почвы. Минимальное значение – на участке 4 – в центральной части парка.

4.2. Концентрация свинца.

Свинец – один из опаснейших токсикантов, а также канцерогенов. При длительном воздействии на организм человека свинец вызывает болезни почек, сердечно-сосудистые заболевания, неврозы. Особенно опасен свинец для детей. При поступлении его в организм ребенка с воздухом, водой и пищей возможно замедление роста и умственного развитие. Содержание свинца в пищевых продуктах в незагрязненных регионах составляет 0,05-3,0 мг/кг сухой массы. Главными источниками загрязнения почв свинцом являются атмосферные выпадения как местного характера (промышленные предприятия, теплоэлектростанции, автотранспорт, добыча полезных ископаемых и др.), так и результаты трансграничного переноса.

На рисунке 8 представлена валовая концентрация свинца в исследуемых участках почвы парка.

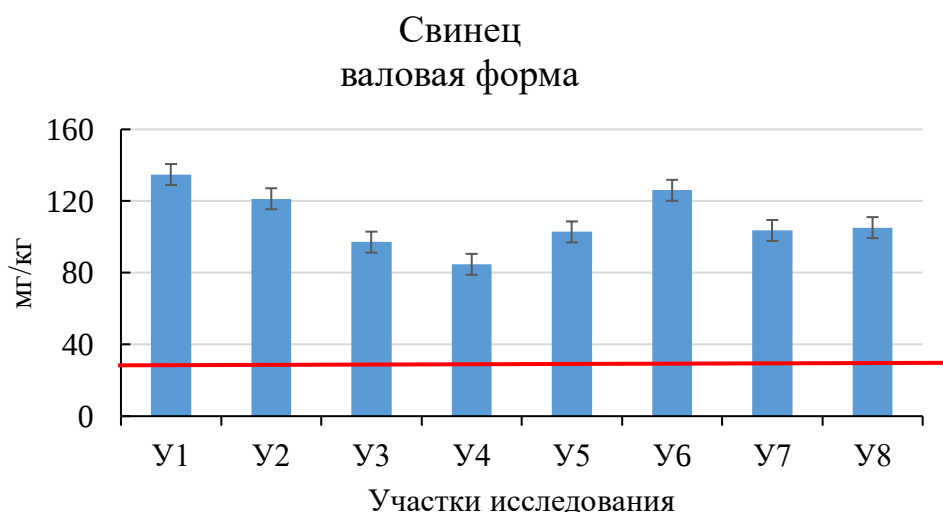


Рисунок 8 – Валовое содержание свинца в почве парка им. Бабушкина

Результаты анализа показали, что почвы всех изучаемых участков парка содержат превышение по ПДК свинца в почвах (которое составляет 23 мг/кг).

Максимальное количество свинца на участках 1, 2 и 6, которое составило 135, 121 и 126 мг/кг, соответственно, а превышения по ПДК составили в 3,8 – 4,2 раза. Меньшее количество было обнаружено по центру парка. На участках 4,3 и 5, которое варьировало от 85 до 103 мг/кг.

На рисунке 9 представлено содержание подвижного свинца на участках изучаемой почвы.

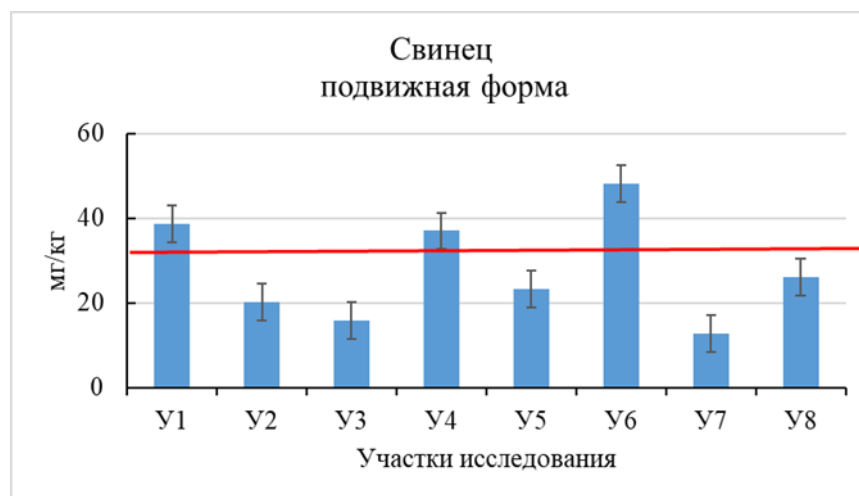


Рисунок 9 – Содержание подвижного свинца в урбикстратоземе парка им. Бабушкина.

На представленном рисунке четко прослеживается, что концентрация свинца в водорастворимой вытяжке существенно варьирует, на участках 2,3,5,7,8 не превышает значения ПДК (65,0 мгк/кг) по данному элементу в почвах, а на участках 1,4,6 выходит на нормы. Минимальное значение содержания свинца составило 12,8 мг/г на участке 7. Максимум наблюдался на участке 6 со значением 48,1, что больше норм ПДК в 8 раз.

4.3. Концентрация меди.

В окружающую среду медь попадает из выбросов отходов металлургических предприятий, заводов по изготовлению химических источников тока (аккумуляторов, батареек), сельхозхимии. Когда ионы меди попадают в почву, то они быстро связываются с минералами и органическими веществами. Данный тяжёлый металл не разрушается в природе, и поэтому он

накапливается в растениях, микроорганизмах. Большие дозы меди в организме человека разрушают его репродуктивную систему, органы ЦНС.

На рисунке 10 представлена валовая концентрация меди в исследуемых участках почвы парка.

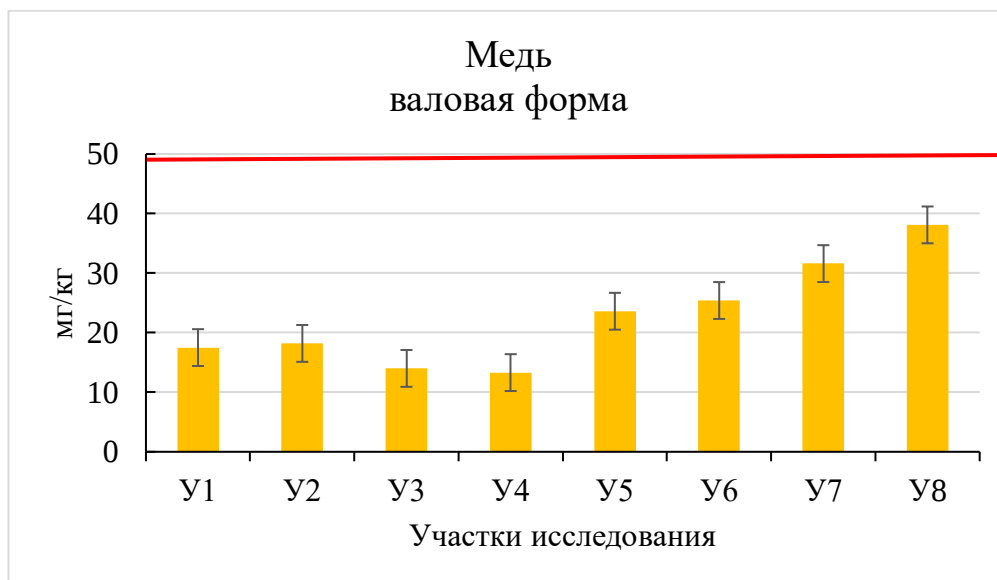


Рисунок 10 – Валовое содержание меди в почве парка им. Бабушкина

Как видно из представленного рисунка, концентрация меди в валовой форме существенно варьировала, но не превышала значения ПДК (132 мг/кг) по данному элементу в почвах. Минимальное содержание выявлено на участках 3 и 4, 14,0 мг/кг и 13,3 мг/кг соответственно. Максимум оказался на участке 8, содержание которого составило 38,1 мг/кг.

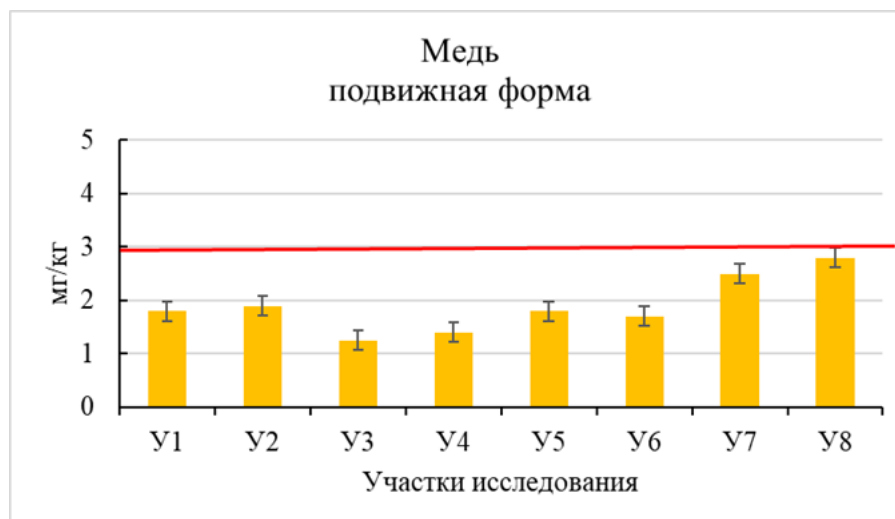


Рисунок 11 – Содержание подвижной меди в урбикстратоземе парка им. Бабушкина.

Как видно из представленного рисунка, концентрация меди в водорастворимой вытяжке варьировала, но не превышала значения ПДК (3,0 мг/кг) по данному элементу в почвах. Также как и с концентрацией валового содержания, максимальное количество водорастворимой меди установлено на участке 8, которое достигло 2,8 мг/кг почвы. Минимальное значение – на участке 3 – 1,25 мг/кг в центральной части парка.

4.4. Концентрация кадмия.

Кадмий — высокотоксичный тяжёлый металл. Он обладает довольно большой летучестью, поэтому значительная его часть загрязняет атмосферу. Это происходит в результате работы заводов по его выплавке и гальванических производств. В почву кадмий проникает из сельхозудобрений, а также с нефтепродуктами. В результате атмосферных процессов он выпадает на землю и поверхностные воды в виде осадков, которые угнетают рост и развитие растений и оказывают канцерогенное действие на представителей животного мира. Влияние на человека также губительно. При вдыхании ядовитых паров

развивается одышка, кашель, цианоз, отек легких. При проникновении через ЖКТ возникает понос и рвота. Хроническая интоксикация вызывает поражение почек, остеомалацию, пневмофиброз.

На рисунке 12 представлена валовая концентрация кадмия в исследуемых участках почвы парка.

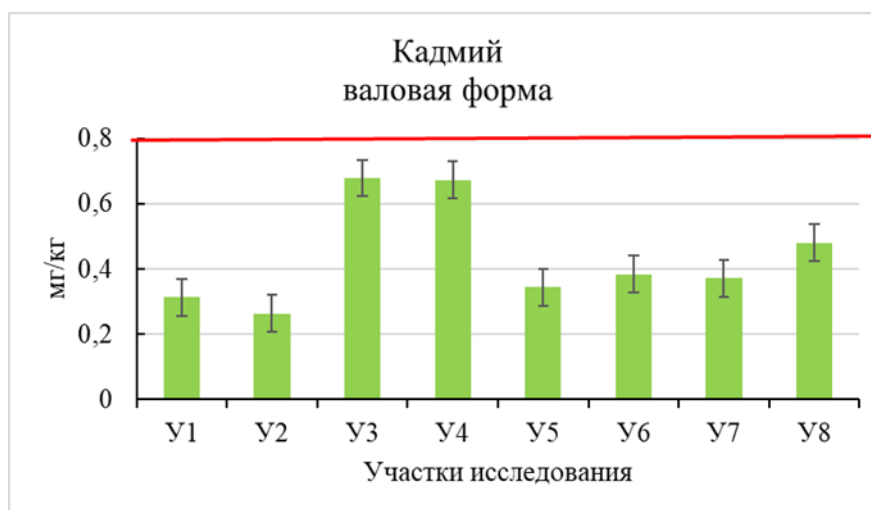


Рисунок 12 – Валовое содержание кадмия в почве парка им. Бабушкина

Из рисунка выше мы можем наблюдать, что содержания кадмия от участка к участку колебалось в пределах 0,264 – 0,679 мг/кг. Данные значения не превышают установленный норматив ПДК (2,0 мг/кг), меньше почти в 5-7 раз.

Максимум наблюдался на участке 3 и 4, составили 0,679 мг/кг и 0,673 мг/кг соответственно. Самое малое содержание кадмия находится на участке 2 - 0,264 мг/кг.

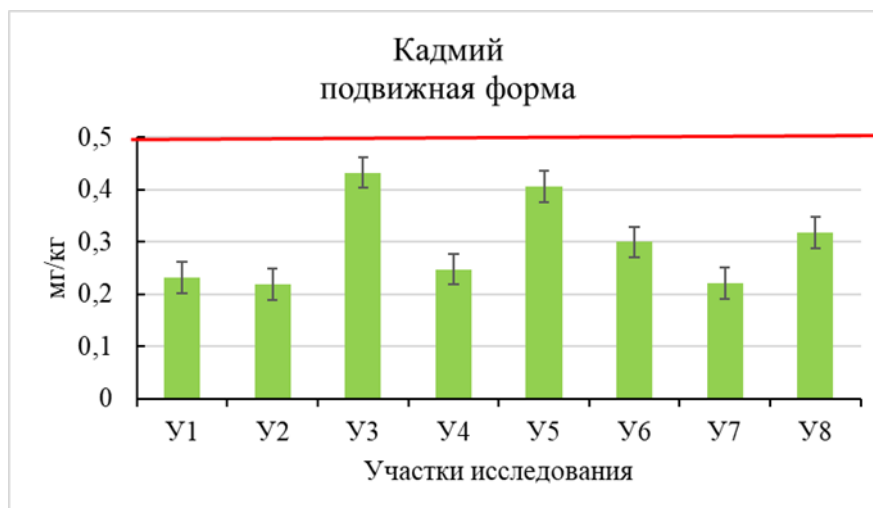


Рисунок 13 – Содержание подвижного кадмия в урбикстратоземе парка им. Бабушкина.

На данном рисунке мы можем наблюдать, что концентрация кадмия в водорастворимой вытяжке также варьировала, но не превышала значения ПДК (2,0 мг/кг) по данному элементу в почвах. Также как и с концентрацией валового содержания, максимальное количество водорастворимого кадмия установлено на участке 3,4, которое достигло 0,432 мг/кг почвы. Минимальное значение – на участке 2 – 0,218 мг/кг.

4.5. Концентрация цинка.

Цинк (Zn) – металл, токсичность которого высокая, он относится к первому классу опасности. Главными источниками поступления цинка являются цинковые удобрения, осадки сточных вод, воздушная пыль и отходы промышленных производств, таких как цветная металлургия, а также коммунально-бытовые отходы и илы от городских очистных сооружений. Вызывает раздражительность, бессонницу, снижение памяти, шум в ушах, желудочно-кишечное расстройство.

На рисунке 14 представлена валовая концентрация цинка в исследуемых участках почвы парка.

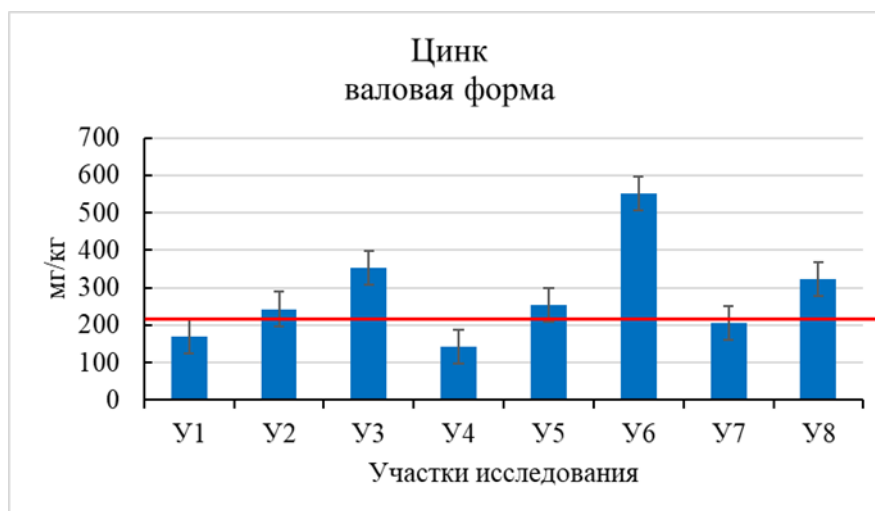


Рисунок 14 – Валовое содержание цинка в почве парка им. Бабушкина

На представленном рисунке мы наблюдать, что есть участки, на которых содержание цинка превысило нормативы ПДК (220,0 мг/кг). Участки 2,3,5,6 и 8 как раз превысили допустимую норму в 3-5 раз. Максимальное содержание выявлено на участке 6, оно составило 551,3 мг/кг. Участки 1,4,7 не превысили норматив ПДК. Минимум оказался на участке 4 – 142,6 мг/кг.

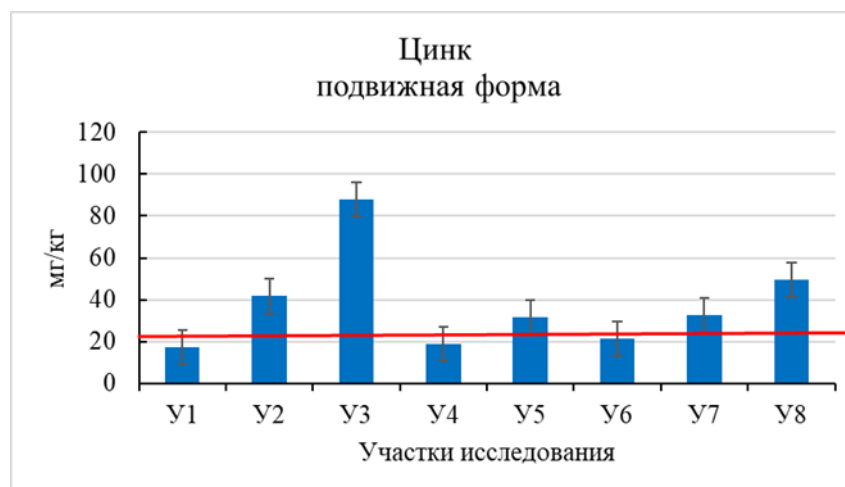


Рисунок 15 – Содержание подвижного цинка в урбикстратоземе парка им.
Бабушкина.

На представленном рисунке четко прослеживается, что концентрация цинка в водорастворимой вытяжке существенно варьирует, на участках 2,3,5,7,8 превышает значения ПДК (23,0 мг/кг) по данному элементу в почвах, а на участках 1,4,6 не выходит за нормы. Минимальное значение содержания цинка составило 18,8 мг/г на участке 4. Максимум наблюдался на участке 3 со значением 88,1, что больше норм ПДК в 4 раза.

4.6 Суммарный показатель загрязнения парка тяжелыми металлами

Для оценки экологического состояния почвенного покрова парка имени Бабушкина были рассчитаны коэффициенты концентрации (K_c) и суммарный показатель загрязнения (Z_c).

K_c широко используется для характеристики и выявления локальных аномалий, связанных с накоплением на урбанизированных территориях тяжелых металлов от транспорта, выбросов предприятий и других техногенных и (или) антропогенных источников. Значения K_c (по Коробиценой и др., 2013):

$< 1,5$ – отсутствие загрязнения;

$1,5 < K_c < 3,0$ – слабое загрязнение;

$5,0 < K_c < 10,0$ – сильное загрязнение;

$K_c > 10,0$ – очень сильное загрязнение;

Посчитанные коэффициенты и суммарные показатели представлены ниже в таблице 4.

Таблица 4 – Коэффициент концентрации химического вещества и суммарный показатель загрязнения.

Участок	Co	Pb	Cu	Cd	Zn	Zc	Оцен. шкала
	Kc						
1	5,6	8,3	1,05	2,2	4,9	17,1	У-О
2	6,7	7,5	1,10	1,9	7,0	19,2	У-О
3	3,3	6,0	0,84	4,9	10,2	20,2	У-О
4	4,6	5,2	0,80	4,8	4,1	14,6	У-О
5	5,8	6,3	1,42	2,5	7,3	18,4	У-О
6	5,3	7,8	1,53	2,7	16,0	28,3	У-О
7	6,9	6,4	1,90	2,7	6,0	18,8	У-О
8	8,4	6,5	2,30	3,4	9,4	25,0	У-О
Среднее	5,8±1,5	6,8±1,0	1,4±0,5	3,1±1,1	8,1±3,8	20,2±4,4	
Загрязнение	сильное	сильное	слабое	слабое	сильное		

Результаты расчётов значений Kc показали, что почва парка слабо загрязнена такими тяжелыми металлами, как медь и кадмий. В то время как значения таких металлов, как кобальт, свинец и цинк приводят к сильному загрязнению почв. Таким образом, по сравнению с фоновыми территориями, почвенный покров парка подвергается в среднем сильному техногенно-антропогенному воздействию, вследствие расположенных поблизости дорожных сетей и некоторых предприятий Невского района города.

Зная коэффициенты концентрации, был рассчитан суммарный показатель загрязнения Zc, как интегральный показатель общего вклада ТМ в загрязнение почвенного покрова.

Согласно этому показателю, почвенный покров парка испытывает умеренно опасную степень загрязнения, что в результате может приводить к увеличению общей заболеваемости населения.

5. Рекомендации

Несмотря на то, что почвенный покров парка испытывает умеренно опасную степень загрязнения, это может приводить к увеличению общей заболеваемости населения, регулярно посещающего данное место отдыха. Особое внимание следует уделить перераспределению нагрузки на почву на территории участка с аттракционами и другой развлекательной техники. Это возможно осуществить при помощи замены развлекательной техники, сконструированной в парке в 80е годы на более новую.

Для проведения мероприятий по рекультивации земель, загрязненных тяжелыми металлами, первым этапом будет установление источника загрязнения, а далее его ликвидация. При таких параметрах, возможно, достигнуть высокой эффективности рекультивации.

К способу рекультивации земель парка, загрязненных тяжелыми металлами, можно отнести также механическое воздействие на загрязненные почво-грунты, т.е. их снятие, перемешивание. На биологическом этапе следует обратить внимание на культуры, способные накапливать тяжелые металлы в вегетативной части, т.е. применять фиторекультивацию. К таким растениям можно отнести овсяниц красную, рапс яровой, горчицу и некоторые другие, которые живописно впишутся в дизайн парка.

Обратить внимание на недопустимость хранения опавшей листвы деревьев, количество которых в парке составляет 210 экземпляров. Листва служит промежуточным резервуаром, через который тяжелые металлы попадают в почву, а частично в воду и воздух.

Для очистки крупных территорий, загрязненных вредными техногенными соединениями, используют широко распространенные природные сорбенты органического происхождения, такие как торф, мох, чернозем, уголь, а также глины и глинистые материалы с высокой емкостью поглощения по отношению к загрязнителям.

Заключение

1. Установлено, что почвы парка представлены урбикстратоземом, представленным рекультивационным серовато-бурым компостно-гумусовым слоем до 28 см, под которым располагаются техногенные горизонты с большим количеством антропогенных включений (кирпичи, стекло, угли и керамика). Верхние гумусовые слои варьируют по гранулометрическому составу от легко до среднесуглинистого, относятся к слабокислым и близким к нейтральной по кислотности. Богаты по содержанию общим углеродом ($> 2\%$) и подвижными формами фосфора и калия.

2. Определено, что в парке на май 2022 года произрастает 210 деревьев, среди которых преобладающими породами парка являются липа мелколистная, береза повислая и тополь белый с долей от общего количества деревьев - 22, 20 и 18% соответственно. В напочвенном покрове преобладают моховый очес, а также следующие злаки: ежа сборная (*Dactylis glomerata*), полевица тонкая (*Agrostis capillaris*), вейник тростниковый (*Calamagrostis arundinacea*), которые занимают 87 % от общего числа видов наземной растительности.

3. Установлено, что среднее валовое содержание кобальта, свинца и цинка в почве парка превышало ПДК химических веществ в почве в 3, 3,4 и в 12 раз, соответственно, в то время как концентрация меди и кадмия была ниже ПДК в 1,4 и 1,1 раза. Содержание подвижных форм изучаемых тяжелых металлов не превышали установленных ПДК, за исключение цинка, где данный показатель был выше в 1,6 раза.

4. Результаты расчётов значений коэффициента концентрации (K_c) химических веществ показали, что почва парка слабо загрязнена такими тяжелыми металлами, как медь и кадмий, и сильно загрязнена кобальтом, свинцом и цинком. K_c тяжелые металлы в почве парка в порядке убывания концентрации образуют следующий ряд: $Zn > Pb > Co > Cd > Cu$

6. Согласно суммарному показателю загрязнения Z_c почвенный покров парка испытывает умеренно опасную степень загрязнения, что в результате может приводить к увеличению общей заболеваемости населения, посещающих парк. Наибольшее суммарное загрязнение установлено на территории участка с аттракционами.

Список литературы

1. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях — Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1987.— 142 с.
2. Белоус Н. М. Влияние различных систем удобрения на накопление тяжелых металлов в сельскохозяйственной продукции / Н. М. Белоус, В. Ф. Шаповалов, Ф. В. Моисеенко, М. Г. Драганская // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2006. – С. 22-29.
3. Вихрева В. А. Содержание селена в почвах и растения лесостепи среднего Поволжья / В. А. Вихрева, Т. Б. Лебедева // Молодой ученый. — 2010. — №11. — С. 195-198.
4. Влияние экотоксикантов на здоровье человека // [Электронный ресурс] VI Международная студенческая научная конференция URL: <https://scienceforum.ru/2014/article/2014004104> (дата обращения: 12.03.2022).
5. Водяницкий Ю. Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами / Ю. Н. Водяницкий, Д. В. Ладонин, А. Т. Савичев — М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева РАСХН, 2012. — 304 с.
6. Водяницкий Ю. Н. Тяжелые и сверхтяжелые металлы и металлоиды в загрязненных почвах. – М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2009. – 95 с.
7. Водяницкий Ю. Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами и металлоидами. М.: Московский Государственный университет им. М.В. Ломоносова, 2017. – 192 с.
8. ГН 2.1.7.2041— 06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы.—М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006.— 15 с.
9. ГН 2.1.7.2511/09 "Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве" М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009.— 11 с.

10. Горбунова Н. С. Содержание тяжелых металлов при длительном применении удобрений в агроценозах кукурузы на черноземах выщелоченных / Н. С. Горбунова, А. Ф. Стулин // Вестник ВГУ. — 2016. — № 4. — С. 49-54.
11. Горохова А. Г. Содержание мышьяка в природных средах на водосборной площади пензенского водохранилища / А. Г. Горохова, А. И. Иванов, А. А. Костычев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. — 2013. — № 9. — С. 19-25.
12. ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО: дата введения 01.07.1986. — Москва: Издательство стандартов, 1985. — 6 с.
13. ГОСТ Р 54650-2011 Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО: дата введения 2013-01-01. — Москва: М.: Стандартинформ, 2019. — 11 с.
14. ГОСТ 26213-91 Методы определения органического вещества: дата введения 1993-07-01. — Москва: М.: Издательство стандартов, 1992. — 8 с.
15. Дашко Р.Э., Александрова О.Ю., Котюков П. В., Шидловская А. В. Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга // Развитие городов и геотехническое строительство, 2011, вып. 1. — С. 1-47
16. Джувеликян Х. А. Загрязнение почв тяжелыми металлами. Способы контроля и нормирования загрязненных почв. / Х. А. Джувеликян, Д. И. Щеглов, Н. С. Горбунова — Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2009. — 22 с.
17. Загрязнение почв Санкт-Петербурга // [Электронный ресурс] Навигатор по государственным сайтам Санкт-Петербурга URL: <http://www.kvs.spb.ru> (дата обращения: 12.03.2022).
18. История // [Электронный ресурс] Парк им. И.В. Бабушкина URL: https://www.parkskazok.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=1&Itemid=3 (дата обращения: 16.11.2021).

19. Мотузова Г. В. Загрязнение почв тяжелыми металлами / Г. В. Мотузова, Е. А. Карпова, Н. Ю. Барсова // Национальный атлас почв Российской Федерации. – 2011. – С. 270-271.
20. МУ по определению тяжелых металлов в почвах с/х угодий и продукции растениеводства ЦИНАО, 1992 г.
21. Недра // [Электронный ресурс] Экологический портал Санкт-Петербурга URL: <http://www.infoeco.ru/index.php?id=139> (дата обращения: 16.03.2022).
22. Природа Ленинградской области: растительный и животный мир // [Электронный ресурс] SYL.RU URL: <https://yandex.ru/turbo/syl.ru/s/article/360594/priroda-leningradskoy-oblasti-rastitelnyiy-i-jivotnyiy-mir> (дата обращения: 12.04.2022).
23. Растворова О. Г. Физика почв (Практическое руководство). — Л.: Изд во ЛГУ, 1983. — 193 с
24. Реки и каналы Санкт-Петербурга // [Электронный ресурс] Библиофонд URL: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=582243> (дата обращения: 05.03.2022).
25. РД 52.18.191-89 Методика выполнения измерений массовой доли кислоторастворимых форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом М.: Гидрометеиздат, 1990. – 12 с.
26. Сады и парки Санкт-Петербурга // [Электронный ресурс] Википедия URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Сады_и_парки_Санкт-Петербурга (дата обращения: 10.03.2022).
27. Санкт-Петербург // [Электронный ресурс] Большая Российская Энциклопедия URL: <https://bigenc.ru/geography/text/5718131> (дата обращения: 16.03.2022).
28. Санкт-Петербург: энциклопедия / Междунар. благотвор. фонд им. Д. С. Лихачёва; ред. Б. В. Ананьич и др. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: РОССПЭН ; СПб. : ИД «Бизнес-пресса», 2006. — 1024 с. — 4500 экз

29. Сердюкова А. Ф. Последствия загрязнения почвы тяжелыми металлами / А. Ф. Сердюкова, Д. А. Барабанщиков // Молодой ученый. — 2017. — №51. — С. 131-135.
30. Середина В.П. Загрязнение почв. — Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2015. — 345 с.
31. Теплая Г. А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды. // Астраханский вестник экологического образования. — 2013. — № 1. — С. 182-192.
32. Трунова Е. О. Особенности накопления и распределения ртути в почвах. // Управление плодородием и улучшение агроэкологического состояние земель. / Е. О. Трунова, В. М. Степанова— Ярославль: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ярославская государственная сельскохозяйственная академия", 2017. — С. 44-47.
33. Условия почвообразования. Рельеф и геологическое строение Санкт-Петербурга // [Электронный ресурс] Studwood URL: https://studwood.ru/2353756/geografiya/usloviya_pochvoobrazovaniya (дата обращения: 16.03.2022)
34. Характеристика климата Санкт-Петербурга // [Электронный ресурс] Экологический портал Санкт-Петербурга URL: <http://www.infoeco.ru/index.php?id=1091> (дата обращения: 16.03.2022).
35. Чернова Р. К. Определение содержания свинца в почвах г. Саратова методом рентгенофлуоресцентного анализа. / Р. К. Чернова, Е. С. Погорелова, И. И. Паращенко, Н. В. Агеева // Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Сер. Химия. Биология. Экология. — 2013. — № 3. — С. 108-113.
36. D. C. Adriano, Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals, Springer, New York, NY, USA, 2nd edition, 2003. 258 p.

- 37.IUSS Working Group WRB. 2014. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome. - 181 p
- 38.Foley J.A., Ramankutty N., Brauman K.A., Cassidy E.S., Gerber J.S., Johnston M., Mueller N.D., O'Connell C., Ray D.K., West P.C., et al. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 2011, 478, 337–342.
- 39.Wang K., Ma J., Li M., Qin Y., Bao X., Wang C., Cui D., Xiang O. Ma L.Q. Mechanisms of Cd and Cu induced toxicity in human gastric epithelial cells: Oxidative stress, cell cycle arrest and apoptosis. *Sci. Total Environ.* 2021, 756, 143951

Приложения

Таблица 1 – Полученные значения пробы почвы

№ п/п	Тяжелые металлы (валовая, кислоторастворимая форма), мг/кг				
	Кобальт	Свинец	Медь	Кадмий	Цинк
1	14,9	134,8	17,5	0,313	170,6
2	18,0	121,3	18,2	0,264	242,8
3	8,8	97,1	14,0	0,679	352,5
4	12,3	84,7	13,3	0,673	142,6
5	15,6	102,8	23,6	0,344	253,2
6	14,1	126,0	25,4	0,384	551,3
7	18,3	103,6	31,6	0,372	205,6
8	19,7	105,2	38,1	0,480	323,2

Таблица 2 – Полученные значения пробы почвы

№ п/п	Тяжелые металлы (подвижная форма), мг/кг				
	Кобальт	Свинец	Медь	Кадмий	Цинк
1	3,0	38,6	1,8	0,231	17,1
2	3,2	20,1	1,9	0,218	41,6
3	1,7	15,9	1,25	0,432	88,1
4	1,2	37,0	1,4	0,247	18,8
5	2,3	23,3	1,8	0,405	31,7
6	2,1	48,1	1,7	0,299	210,2
7	3,4	12,8	2,5	0,220	32,4
8	3,5	26,2	2,8	0,317	49,5

Приложение А – Геоморфологическая карта Санкт-Петербурга

