

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«МАРИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 504.06:631.1



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

А.Н. Леухин А.Н. Леухин

« ноябрь » ноябрь 2022 г.

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме: «Биологический мониторинг состояния почвенного покрова»

Начальник управления научной
и инновационной деятельности

Ю.А. Филенко Ю.А. Филенко
« ноябрь » ноябрь 2022 г.

Руководитель темы

Е.А. Алябышева Е.А. Алябышева
« ноябрь » ноябрь 2022 г.

Йошкар-Ола

2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	6
1.1. Городские почвы и их свойства.....	6
1.2. Влияние хлорид ионов на окружающую среду и здоровье человека.....	9
2. РАЙОН, ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	12
2.1. Отбор проб почв.....	12
2.2. Приготовление водной почвенной вытяжки	13
2.3. Определения удельной электрической проводимости.....	13
2.4. Измерение рН водной почвенной вытяжки.....	14
2.5. Определение иона хлорида argentометрическим методом по Морю ...	14
2.6. Исследование фитотоксичности почв.....	15
2.7. Изучение содержания фотосинтетических пигментов	16
3. ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ УРБОТЕХНОЗМОВ	17
3.1. Оценка кислотности городских почв	17
3.2. Оценка электропроводности водных почвенных вытяжек.....	19
3.3. Оценка концентрации хлоридов на территории г. Йошкар-Олы.....	21
3.4. Описание возможных локальных участков вторичного засоления городских почв	26
4. ОЦЕНКА ФИТОТОКСИЧНОСТИ ПОЧВ Г. ЙОШКАР-ОЛЫ	28
4.1. Оценка воздействия почвы на энергию прорастания семян	28
4.2. Исследование всхожести семян горчицы в различных почвенных вытяжках	29
4.3. Оценка фитотоксичности почв по длине главного корня проростков горчицы белой	31
4.4. Влияние засоления почв на состояние ассимиляционного аппарата тест-объектов	33
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	37
РЕКОМЕНДАЦИИ	39
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЛИТЕРАТУРЫ	40

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Почвенный покров это важный компонент в биосфере. Благодаря своим свойствам, почва определяет качество жизни человека, количество сельскохозяйственной продукции. Почва может выполнять санитарные функции, она поглощает загрязняющие вещества, не дает проникнуть в почвенно-грунтовые воды, обладает антисептическим свойством к загрязнениям (Дятлов, 2009; Смагин, 2010).

Загрязнение почв – это вид антропогенной деградации, в котором содержание химических веществ имеют превышение в фоновом уровне. Загрязнителем почвы может быть любое химическое вещество, которое попадает в почвенный покров. Почвы загрязняются пестицидами, строительным и бытовым мусором.

Химические вещества в больших количествах изменяют почвенный покров в худшую сторону, приводит к вымиранию живых организмов и ухудшение плодородия. Химическое загрязнение более опасно, его негативное воздействие на живые организмы закрепляются на генетическом уровне (Горбунова, 2009).

Для того чтобы сохранить почвенный покров, необходимо проводить почвенный экологический мониторинг. Мониторинг выявляет антропогенное загрязнение почв, в дальнейшем которое, может нанести губительный характер на здоровье человека (Мотузова, 2007). Основным показателем, который выявляет воздействие загрязняющих веществ на природную среду, является предельно-допустимая концентрация.

В формировании почвенного покрова городов проявляются некоторые общие закономерности: уничтожаются природные почвы, перемешиваются с грунтами, загрязняются органическими и минеральными веществами, в их состав включаются бытовые и строительные отходы.

В то же время специфика городских почв зависит от региональной направленности процессов почвообразования, истории и возраста

формирования города, местных видов техногенной деятельности человека. Как «новые» компоненты окружающей среды городские почвы изучены недостаточно.

В настоящее время наблюдается динамика увеличения автомобильного парка в среднем на 1,5% в год (по России). Это ведет к расширению дорожно-транспортной сети, нуждающейся в обслуживании. В зимний период времени основным фактором является ледяной покров. Широко применяемый в практике химический метод разрушения снега и льда – применение противогололедных материалов (Шунелько, 2000).

При попадании хлоридов в почву, ухудшается действие минеральных и органических удобрений, увеличивается кислотность почвы. Из литературных источников известно, что антигололедные смеси в большом количестве затрудняют процесс фотосинтеза у растений, нарушается клеточная структура растительных тканей. Использование хлоридов угрожает жизни почвенным микро- и микроорганизмам (червям, грибам, низшим растениям) и приводит к полной деградации почвы. По данным НИИ экологии человека и окружающей среды им. А.Н. Сысина хлористый кальций вызывает аллергию у людей. Хлорид кальция небезопасен для животных (Девятова, 2006).

Целью настоящей работы было организация и проведение биологического мониторинга состояния почвенного покрова г. Йошкар-Олы.

Задачи исследования:

1. Определить электропроводность и кислотность водных почвенных вытяжек проб почвы, отобранных на придорожных полосах.
2. Исследовать содержание ионов хлора в почвах разных функционально-планировочных зон г. Йошкар-Олы.
3. Выделить возможные локальные участки вторичного засоления городских почв.
4. Оценить воздействие почвы на энергию прорастания семян.
5. Исследовать всхожесть семян в различных почвенных вытяжках.
6. Оценка фитотоксичности почв по длине главного корня проростков.

7. Влияние засоления почв на состояние ассимиляционного аппарата тест-объектов.

Научная новизна. Проведена комплексная оценка уровня засоления почв г. Йошкар-Олы, выявлены изменения свойств почвы от степени засоления, в том числе выявлены локальные зоны засоления урботехноземов.

Практическая значимость. Результаты исследования можно использовать для организации мониторинга состояния городского почвенного покрова, выявления локальных засоленных участков почв, разработки природоохранных и профилактических мероприятий, направленных на улучшение экологической и санитарно-эпидемиологической обстановки в г. Йошкар-Оле.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Городские почвы и их свойства

Почва – это поверхностный слой литосферы Земли, обладающий плодородием, который состоит из четырехфазной системы (твердой, жидкой, газообразной и живые организмы) образованная из выветривания горных пород и жизнедеятельности организмов.

Почвы начинают образовываться из-за выветривания. В процессе выветривания происходит разрушение и измельчение горных пород. Большую роль в образовании почвы принимают микроорганизмы, из-за долгой переработки микроорганизмами органических остатков, начинает образоваться слой гумуса. В гумусе собраны все вещества, которые нужны для роста растений. Животные почв (насекомые, черви) разрыхляют и перемешивают почву, почва приобретает пористость, такая почва более плодородна. Разрыхленная корнями растений и животными-землероями почва имеет комковатую структуру, такие почвы называются структурными. Они очень плодородны и идеально подходят для хорошего урожая растений. Почвы, состоящие из маленьких частиц размером от 0,001 до 0,05 мм, называются бесструктурными. Впитывая воду, такие почвы образуют вязкую, липкую массу – такие почвы считаются не плодородными (Чернышева, 2014).

Основными водорастворимыми соединениями, загрязняющими городские почвы, являются натрий, хлориды, сульфаты, соединения фтора и др. На характер загрязнения почв придорожных полос водорастворимыми соединениями влияет рельеф местности, наличие строений, продолжительность снежного периода, количество выпавших осадков, интенсивность транспортного движения, а также и другие факторы (Хазиев, 2012).

Сульфаты являются также водорастворимыми загрязнителями почвенного покрова в городских условиях. Основными источниками их поступления являются выбросы промышленных предприятий. В атмосферу поступают соединения серы, которые представляют собой фазовые смеси

газов и аэрозолей, состоящих из золы, пыли, туманов (Пироговская, Хмелевский, 2010).

Почва обеспечивает человека продуктами питания, животных – кормами. Чтобы использовать почву в правильном направлении, нужно знать ее состав и свойства. При правильной эксплуатации почвы она не теряет своих свойств, а наоборот, становится еще плодороднее. Почвы определяют условия для роста зеленых насаждений, поглощают загрязняющие вещества и не дают проникнуть в почвенно-грунтовые воды, обладают санитарными и антисептическими свойствами к биологическим загрязнителям, что в итоге сказывается на состоянии здоровья человека и его генофонде (Смагин, 2010). Санитарно-гигиенические функции очень важны, почва является антисептиком, уничтожает патогенные микроорганизмы и разлагает органические остатки.

На городских территориях, в отличие от природных, антропогенный фактор почвообразования можно считать ведущим. В развитии почвенного покрова города, появляются некоторые закономерности: уничтожаются природные почвы, загрязнение минеральными веществами, строительным мусором. Своеобразие городских почв зависит от процессов почвообразования, истории города, видом техногенной деятельности человека (Тригуб, 2011).

В нашем мире почвообразование начинается в естественных почвах, на культурном слое и на грунтах неизменных под влиянием человека. Формирование культурного слоя происходит путем накопления из материалов хозяйственно – бытовой деятельности человека или путем изменения верхнего природного слоя при строительстве с приносом в естественную почву специфических материалов. В состав культурного слоя входят – битый кирпич, строительный мусор, булыжные и асфальтовые покрытия (Бойцова, 2012).

В насыпных грунтах происходит глубокое проникновение в органические и питательные вещества, тяжелых металлов. В городах

естественный почвенный покров сохраняется на территории парковых и садовых насаждений, в остальной части почвенный покров уничтожен, либо в нем произошли кардинальные изменения. Тип грунта или смесь влияет на свойства почвы, на осуществление почвой экологических функций.

Почвы города подразделяют на три группы:

1. Ненарушенные – почвы, сохранившие нормальное залегание почв, встречаются ботанических садах, парках.
2. Нарушенные – перемешанные, укороченные почвы.
3. Искусственно созданные – почвы, созданные с помощью деятельности человека.

В результате жизнедеятельности человека в окружающую среду попадают сотни тысяч новых химических соединений с неизвестными токсикологическими характеристиками. Загрязненность и токсичность почвы начинается из-за скопления в ней естественных и антропогенных происхождений. Загрязнители поступают в почву с атмосферными осадками (снегом, дождем) при использовании пестицидов, химических удобрений в сельскохозяйственном производстве (Дятлов, 2009).

Химический показатель города почвы отличается от своих природных аналогов. Кислотность почв колеблется в больших пределах, но больше преобладает нейтральная и слабощелочная среда. Высокую щелочность связывают с попаданием в дренажные воды хлоридов кальция и натрия, которыми обрабатывают дороги зимой.

Кроме химического загрязнения бывают загрязнения твердыми материалами. Это может быть – бумага, пластик, канализационные стоки, атмосферные осадки (Тарасова, 2012).

Одним из главных загрязнителей является автотранспорт. Ученые рассчитали около 40 химических веществ, многие из них токсичные. В Российской Федерации наблюдается увеличение автомобильного парка на 1,5% в год. Увеличение ведет к расширению дорожно-транспортной сети, нуждающейся в ремонте. В зимний период – это ледяной покров. Самый

легкий способ уничтожения льда и снега – это применение антигололедных реагентов (Шунелько, 2000).

Таким образом, все это может привести к засолению почвы, которая, итак, находится под антропогенным воздействием. Для растительного мира большое количество солей очень токсично. Смотря сколько концентрации солей в почве, у растений наблюдается дефицит (Девятова, 2006).

1.2. Влияние хлорид ионов на окружающую среду и здоровье человека

Внимание к поведению хлоридов в природных системах объясняется их высокой обменной активностью, хорошей растворимостью в воде. Накопление химических реагентов в придорожной полосе происходит не в поверхностном слое почвы, а на глубине до 60 см, достигая грунтовых вод и зоны корневой системы растений.

При отрицательных температурах и отсутствии стока реагенты хлориды интенсивно впитываются снегом и вместе с ним перебрасываются уборочными машинами в стороны от проезжей части на расстояние до 50 м. Часть солей, не вступивших в реакцию, остается на покрытии, и с брызгами от колес машин, с пылью и снегом может переноситься ветром на значительное расстояние (Аранжухина, 2013).

Больше всего хлоридов содержится в снеге на расстоянии до 3 м от бровки земляного полотна на откосах дороги и снижается на расстоянии до 20 м, если для очистки покрытия применяются машины, сбрасывающие снег у обочин. Если используются роторные снегоочистители, разбрасывающие снег до 30 м от обочины, наблюдается два пика скопления противогололедных веществ – на расстоянии до 3 и от 15 до 20 м от бровки земполотна.

Засоление воды и почвы является стрессовым фактором среды обитания высшей растительности – травянистой, кустарниковой, древесной. В зависимости от солеустойчивости и солевыносливости биологических видов засоление нарушает метаболизм растений, влияет на рост,

размножение и расселение видов, внося деструктивные изменения в экосистемы. Соль оказывает влияние путем непосредственного воздействия на различные части растения через почву, изменяя ее структуру, щелочность, осмотическое давление, а также путем непосредственного влияния ионов солей после проникновения их в клетку растения. Симптомы повреждения растений солью выражаются в ожогах, скручивании, преждевременном опадании листьев, суховершинности стеблей, загнивании корней, сокращении вегетационного периода. Солевыносливость не является стабильным признаком растения, а представляет собой процесс, изменяющийся во времени: у неустойчивых и среднеустойчивых растений (к этому типу относится большинство видов) падает содержание веществ, способствующих повышению устойчивости, тогда как у устойчивых – применение солей вызывает положительные изменения в обмене веществ (Хомяков, 2011).

В состав противогололедных материалов в зависимости от их назначения, типа и марки могут входить в различных соотношениях хлорид кальция, хлорид натрия, хлорид калия, мочевины, формиат калия, формиат натрия, хлорид магния, карбонат кальция, ацетат калия, нитрат кальция тетрагидрат, нитрат магния гексагидрат, оксиэтилированные моноглицериды и диглицериды кислот, сополимер акриламида и диметилаллиламмоний хлорида.

По данным НИИ экологии человека и окружающей среды им. А.Н. Сысина *хлористый кальций* вызывает аллергию у людей. Хлорид кальция небезопасен для животных. Пяти процентная его концентрация является пороговой при длительном использовании на кожные покровы животных, т.е. следует вводить в ПГМ хлорида кальция в концентрациях до 5%, как не оказывающее негативного воздействия на кожные покровы животных.

Хлорид натрия умеренно опасен для животных. При изучении местно-раздражающего действия хлорида натрия, отмечено, что двадцати процентная концентрация является пороговой при многократном

использовании. Для ПГМ следует вводить концентрацию хлорида натрия 10 %, как безопасную, и не оказывающее негативного воздействия на кожные покровы животных. Хлористый натрий по параметрам острой токсичности относится к умеренно токсичным веществам. Как известно, в воде хлористый натрий диссоциирует на катионы натрия соответственно и хлорид анионы. При хроническом воздействии в избыточных количествах хлорид натрия, принимаемый с пищей или водой, оказывает на человека токсическое действие, которое часто проявляется в виде гипертонии. У людей в течение многих лет потреблявших питьевую воду, содержащую хлорид натрия в концентрации до 2100 мг/л, в 4 раза чаще наблюдалась артериальная гипертония, которая развивалась к 25-29 годам и протекала тяжело. Уровень заболеваемости, наблюдавшихся жителей был вдвое выше обычного, преобладали заболевания периферической нервной системы, туберкулез органов дыхания, хронические бронхиты, заболевания печени, желчного пузыря.

Хлорид калия умеренно опасен для животных. При изучении местно-раздражающего действия хлорида калия, отмечено что 20%-ная концентрация раствора хлорида калия является пороговой при длительном использовании, т.е. следует вводить ПГМ 10%-ную концентрацию хлорида калия как безопасную.

Хлорид магния умеренно опасен для животных. При изучении местно-раздражающего действия хлорида магния, отмечено что 20%-ная концентрация является пороговой при многократном использовании. Для ПГМ следует вводить концентрацию 10%, как безопасную и не оказывающую негативного воздействия на кожные покровы животных (<https://www.teh-stroy.ru>).

2. РАЙОН, ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Отбор проб почв

Исследования проводили в мае-октябре 2022 г. Отбор проб почвы проводили в трех функционально-планировочных зонах г. Йошкар-Олы: рекреационной, селитебной и южной промышленной (табл. 1).

Таблица 1 - Районы исследований

№ п/п	Зона , улица		
рекреационная зона			
1.	Центральный парк культуры и отдыха им. XXX-летия ВЛКСМ		
селитебная зона			
2.	Анциферова	10.	Первомайская
3.	Баумана	11.	Петрова
4.	Волкова	12.	Дружбы
5.	Зарубина	13.	Пролетарская
6.	Кирова	14.	Пушкина
7	Машиностроителей	15.	Рябинина
8.	Некрасова	16.	Эшпая
9.	Павленко		
южная промышленная зона			
17.	Карла Маркса	20.	Соловьева
18.	Ломоносова	21.	Строителей
19.	Лермонтова		

Отбор проб почвы осуществляли в соответствии с ГОСТ Р 58595-2019 «Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, биологического и гельминтологического анализа» и методическими указаниями МУ 2.1.7.730-99 «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест».

В пределах каждого участка точечные (единичные) пробы отбирали равномерно по маршрутному ходу через равные интервалы. Объединенную пробу составляли путем смешивания точечных проб, отобранных на одной пробной площадке. Для химического анализа объединенную пробу составляли не менее чем из пяти точечных проб, взятых с одной пробной площадки. Масса объединенной пробы составляла 1 кг.

2.2. Приготовление водной почвенной вытяжки

В соответствии с ГОСТ 26423-85 «Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки» пробы почвы доводили до воздушно-сухого состояния, измельчали, пропускали через сито с круглыми отверстиями диаметром 1-2 мм и хранили в коробках или пакетах.

Из пакетов почву высыпали на ровную поверхность, тщательно перемешивали и распределяли слоем толщиной не более 1 см. Пробы почвы массой 30 г, взвешенные с погрешностью не более 0,1 г, помещали в конические колбы. К пробам приливали цилиндром по 150 см³ дистиллированной воды. Почву с водой перемешивали в течение 3 мин на взбалтывателе и оставляли на 5 мин для отстаивания.

2.3. Определения удельной электрической проводимости

В соответствии с ГОСТ 26423-85 «Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки» после 5-минутного отстаивания в суспензию погружали датчик кондуктометра и определяли электрическую проводимость водной почвенной вытяжки. После каждого определения датчик тщательно промывали дистиллированной водой.

Удельную электрическую проводимость анализируемой вытяжки (X), мСм/см, вычисляли по формуле:

$$X = a \cdot C \cdot k,$$

где а - измеренная электрическая проводимость вытяжки, мСм; С - константа кондуктометрической ячейки (датчика), см⁻¹; к - коэффициент температурной поправки для приведения электрической проводимости, измеренной при данной температуре, к 25 °С.

2.4. Измерение рН водной почвенной вытяжки

В соответствии с ГОСТ 26423-85 «Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки» часть почвенной суспензии, объемом 15-20 см³ сливали в химический стакан вместимостью 50 см³ и использовали для измерения рН.

Настройку рН-метра проводили по трем буферным растворам с рН=4,01, 6,86 и 9,18, приготовленным из стандарт-титров. Показания прибора считывали не ранее чем через 1,5 мин после погружения электродов в измеряемую среду, после превращения дрейфа измерительного прибора. Во время работы настройку прибора периодически проверяли по буферному раствору с рН=6,86.

2.5. Определение иона хлорида argentометрическим методом по Морю

Определение хлоридов в почве проводили согласно ГОСТ 26425-85 «Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке».

Ход анализа. Пробу водной вытяжки объемом 2 см³ отбирали пипеткой в коническую колбу, приливали дистиллированную воду до объема 20-30 см³, 1 см³ раствора хромовокислого калия с массовой долей 10% титрировали раствором азотнокислого серебра до перехода окраски от желтой к красно-бурой.

Объем пробы вытяжки устанавливали по величине удельной электрической проводимости или по величине плотного остатка: 20 см³ - при удельной электрической проводимости вытяжки до 1,5 мСм/см или массовой доле плотного остатка до 0,7%; 10 см³ - при удельной электрической проводимости 1,5-3 мСм/см или массовой доле плотного остатка 0,7-1,5%; 2 см³ - при удельной электрической проводимости св. 3 мСм/см или массовой доле плотного остатка больше 1,5%.

Количество эквивалентов иона хлорида (X), ммоль в 100 г почвы, вычисляли по формуле:

$$X = \frac{V \cdot c \cdot 500}{V_1},$$

где V - объем раствора азотнокислого серебра, пошедший на титрование, см^3 ;

C - концентрация раствора азотнокислого серебра, $\text{ммоль}/\text{см}^3$;

500 - коэффициент пересчета на 100 г почвы;

V_1 - объем пробы водной вытяжки, см^3 .

Массовую долю иона хлорида в почве (X_1) в процентах вычисляли по формуле:

$$X_1 = C \cdot 0,0355,$$

где C - количество эквивалентов иона хлорида в почве, ммоль в 100 г;

0,0355 - коэффициент пересчета в проценты.

За результат анализа принимали значение единичного определения иона хлорида. Результат выражали в миллимолях в 100 г почвы и в процентах с округлением до трех значащих цифр.

Для оценки засоленности почв г. Йошкар-Олы использовали тестобъекты: горчицу белую (*Sinapis alba* L.) и овес посевной (*Avena sativa* L.), согласно ГОСТ Р ИСО 22030-2009.

2.6. Исследование фитотоксичности почв

Определение фитотоксичности почвы проводили в лабораторных условиях по энергии прорастания и всхожести семян горчицы белой (*Sinapis alba* L.).

Энергию прорастания определяли на 3-4 день исследований, на 6-7 – всхожесть семян (ГОСТ 12038-84).

В дальнейшем оценивали фитотоксичность почвы по показателям: снижение всхожести семян и ингибирование ростовых процессов (ГОСТ Р ИСО 22030-2009).

2.7. Изучение содержания фотосинтетических пигментов

Количественное определение хлорофиллов *a* и *b* провели на спектрофотометре СФ-103 путем определения оптической плотности спиртовой вытяжки пигментов (Третьяков, 1990).

Ход анализа. Концентрация пигментов на спектрофотометре определяется по оптической плотности. Плотность экстракта на спектрофотометре измеряют при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения хлорофиллов *a* и *b* в красной области спектра и при длине волны абсорбционного максимума каротиноидов. Концентрация пигментов рассчитывают по уравнения:

для 100 %-го ацетона (по Хольму — Веттштейну):

$$\begin{aligned}C_{\text{хл.а}} &= 9,784D_{662} - 0,990D_{644}; \\C_{\text{хл.б}} &= 21,426D_{644} - 4,650D_{662}; \\C_{\text{хл.а+хл.б}} &= 5,134D_{662} + 20,436D_{644}; \\C_{\text{кар}} &= 4,695D_{440,5} - 0,268C_{\text{хл.а+хл.б}};\end{aligned}$$

Результаты обработаны статистически с использованием программы STATISTIKA 6.0. Рассчитаны среднее арифметическое, ошибка среднего арифметического. Проведены однофакторный дисперсионный анализ, корреляционный анализ.

3. ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ УРБОТЕХНОЗМОВ

3.1. Оценка кислотности городских почв

Кислотность – агрономическая характеристика почв. При повышенной кислотности замедляется рост и развитие растений, ухудшает проницаемость через корневую систему питательных веществ. Ион водорода вызывает кислотность почв, в каком состоянии находится почва кислотность, может быть активной, актуальной и потенциальной (Ковриго, 2000).

В ходе работы было обнаружено, что значения рН водной почвенной вытяжки в пробах, отобранных на территории г. Йошкар-Олы изменялись от 7,5 до 8,4 (рис. 1).

Минимальное значение было отмечено для проб почвы, отобранных на территории Центрального парка культуры и отдыха им. XXX-летия ВЛКСМ, а наибольшее - на улице Первомайской. Значения водородного показателя водных почвенных вытяжек соответствовали дерново-слабо-среднеподзолистым суглинистым почвам. В ходе работы было установлено, что фактор – место отбора проб влиял на значения рН водных почвенных вытяжек (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты анализа данных (рН водных почвенных вытяжек)

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-значение	F критическое
Между группами	3,428	20	0,171	8,489	3,81288E-09	1,825
Внутри групп	0,848	42	0,020			
Итого	4,276	62				

Берсеновой Д.Е. Завальцевой О.А. (2016) были определены некоторые физико-химические показатели почвенных проб, отобранных на территориях разной функциональной организации в г. Москве. Авторы установили, что значение водородного показателя почв парка ниже, чем почв придорожных

полос Хорошевского шоссе. Они считают, что это обусловлено незначительным антропогенным влиянием.

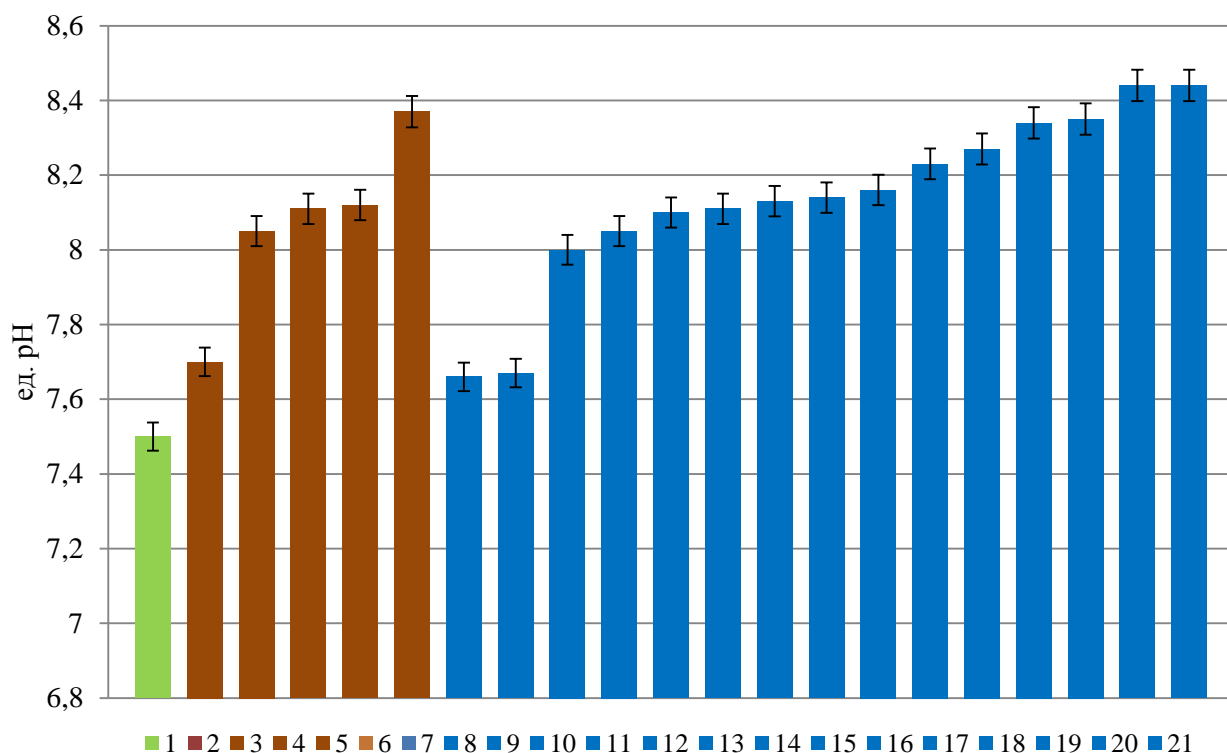


Рисунок 1 – Значения рН водной почвенной вытяжки

■ - рекреационная зона; ■ - южная промышленная зона, ■ - селитебная зона

Обозначения: 1 – Центральный парк культуры и отдыха им. XXX-летия ВЛКСМ; 2 - К. Маркса, 3 – Ломоносова, 4 – Лермонтова, 5 – Строителей, 6 – Соловьева, 7 – Кирова, 8 - Я. Эшпая, 9 – Волкова, 10 – Пушкина, 11 – Анциферова, 12 – Машиностроителей, 13 – Рябинина, 14 – Некрасова, 15 – Баумана, 16 – Павленко, 17 – Пролетарская, 18 – Зарубина, 19 – Дружбы, 20 – Первомайская, 21 - Петрова

Согласно методическим указаниям по оценке городских почв при разработке градостроительной и архитектурно-строительной документации (2003), для большинства почв города характерно смещение реакции среды в щелочную сторону. В городских условиях почвы, как правило, подвергаются подщелачиванию в результате применения антигололедных реагентов, а также попадания строительной пыли, содержащей повышенные количества карбоната кальция.

При характеристике кислотно-щелочного режима почв выделяют следующие градации: рН Н₂О = 6,5-7,0 - пригодные и плодородные; рН Н₂О

= 7,0-7,5 - потенциально плодородные; рН Н₂О = 7,5-8,0 - малопригодные и слаботоксичные; рН Н₂О = 8,0-8,5 - среднепригодные и среднетоксичные; рН Н₂О >8,5 - непригодные по химическим свойствам и сильнотоксичные.

Таким образом, почвы г. Йошкар-Олы являются мало- и средне пригодными и слабо- и среднетоксичными.

3.2. Оценка электропроводности водных почвенных вытяжек

Из литературных источников известно, что экологические функции почвы в городе нарушены на землях природно-рекреационного использования. В селитебных зонах все функции почв, связанные с гидросферой, грунтом, биотой, значительно ослаблены и нарушены. Почвы на этих территориях нуждаются в постоянном проведении реабилитационных мероприятий. Экологические функции почв промышленных зон практически полностью подавлены (Поздняков, Елисеев, 2012).

Электропроводность водных почвенных вытяжек является одной из наиболее удобных и быстро определяемых характеристик, позволяющая дать оценку почвенного плодородия (гранулометрический и минералогический состав, гумусированность, рН, влажность, свойства, определяющие почвенно-поглощающий комплекс и ряд других) (Субботина, 2013).

На рисунке 2 приведены данные по определению электропроводности водных почвенных вытяжек.

Так наименьшие значения данного показателя были отмечены у проб, отобранных на территории центрального парка. Электропроводность почвенных вытяжек проб, отобранных в южной промышленной зоне, была в 1,2-1,8 раза больше. Электропроводность почвенных растворов проб, отобранных на территории селитебной зоны изменялась от 112,2 до 354,1 мкСм/см и была в 1,1-3,3 раза больше, чем в центральном парке. Наибольшие значения данного показателя были характерны для проб, отобранных на ул. Зарубина и ул. Кирова.

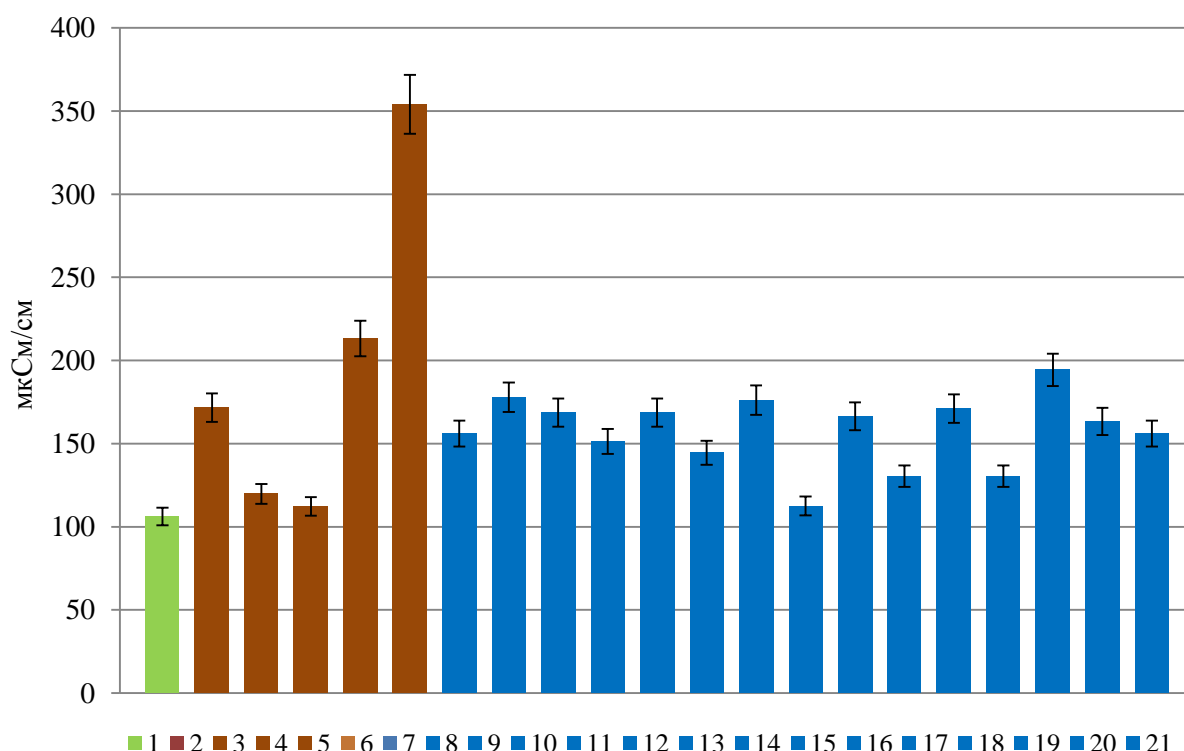


Рисунок 2 – Значения электропроводности в водной почвенной вытяжки
■ - рекреационная зона; ■ - южная промышленная зона, ■ - селитебная зона

Обозначения: 1 – Центральный парк культуры и отдыха им. XXX-летия ВЛКСМ; 2 - К. Маркса, 3 – Ломоносова, 4 – Лермонтова, 5 – Строителей, 6 – Соловьева, 7 – Кирова, 8 - Я. Эшпая, 9 – Волкова, 10 – Пушкина, 11 – Анциферова, 12 – Машиностроителей, 13 – Рябинина, 14 – Некрасова, 15 – Баумана, 16 – Павленко, 17 – Пролетарская, 18 – Зарубина, 19 – Дружбы, 20 – Первомайская, 21 - Петрова

В результате обработки данных с помощью однофакторного дисперсионного анализа было выявлено, что фактор – место отбора проб оказал статистически значимое влияние на значения электропроводности водных почвенных вытяжек (табл. 3).

Таблица 3 - Результаты анализа данных (удельная электропроводность водных почвенных вытяжек)

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-значение	F критическое
Между группами	1722618,400	20	8630,922	72,282	3,27E-26	1,825
Внутри групп	5015,027	42	119,405			
Итого	177633,500	62				

Сотневой Н.И. (2005) было установлено, что между суммой токсичных солей, а так же активными ионами натрия и хлора и удельной электропроводностью существует коррелятивная связь.

Для определения связи между анализируемыми показателями в работе был использован корреляционный анализ, позволяющий с использованием коэффициентов корреляции определить, существует ли зависимость между переменными и насколько она сильна. Был рассчитан коэффициент корреляции Спирмена, который вычисляет силу связи между относительными движениями двух переменных.

Так, значение коэффициента корреляции между значениями электропроводности и концентрацией хлорид-ионов водной почвенной вытяжки составило $r_s=0,304$, то есть между признаками существует слабая положительная связь. Значение коэффициента корреляции между значениями рН и концентрацией хлорид-ионов водной почвенной вытяжки составило $r_s=0,176$, то есть между признаками существует слабая положительная связь.

3.3. Оценка концентрации хлоридов на территории г. Йошкар-Олы

Особый вклад в ухудшение биологических свойств почв вносит применение зимой солей в целях быстрого освобождения дорожных покрытий от снега. Для этого обычно используют хлористый натрий (поваренную соль), что ведет не только к коррозии подземных коммуникаций, но и к искусственному засолению почвенного слоя. В результате в городах и вдоль автомагистралей появились такие же засоленные почвы, как где-нибудь в сухих степях или на морских побережьях (Закамская, Максимова, 2021).

Особенности миграции ионов хлора в почвенном профиле определяются гранулометрическим составом почвенных горизонтов, глубиной почвенного профиля, а также режимом и интенсивностью выпадения осадков.

Почвы г. Йошкар-Олы имеют низкий уровень загрязнения, это свидетельствует о том, что, несмотря на высокую антропогенную нагрузку, городские почвы сохранили способность самоочищаться. Кроме того, загрязнение почвы солями тяжелых металлов не является актуальной проблемой, так как на территории города отсутствуют металлургические, нефтехимические и другие предприятия, являющиеся источниками загрязнения атмосферного воздуха и почвы (Экология..., 2007).

В качестве основного противогололедного реагента на территории г. Йошкар-Олы используется песко-соляная смесь, в состав которой входят соли соляной кислоты – хлориды. В связи с этим нами проводилось изучение степени загрязнения урбаноземов ионами хлора как результата антигололедных мероприятий вблизи проезжих частей и пешеходных дорожек в разных функциональных зонах г. Йошкар-Олы.

В ходе работы были отобраны и исследованы пробы почвы, отобранные в трех функционально-планировочных зонах г. Йошкар-Олы на содержание в них ионов хлора.

Так, в пробах почвы, отобранных на территории Центрального парка культуры и отдыха им. XXX-летия ВЛКСМ (рекреационная зона г. Йошкар-Олы) концентрация хлорид-ионов составила $0,10 \pm 0,011\%$. Согласно классификации Н.И. Базилевича и Е.И. Панкова, данное значение свидетельствует о том, что почвы относятся к слабозасоленным (0,05-0,15%) (рис. 3).

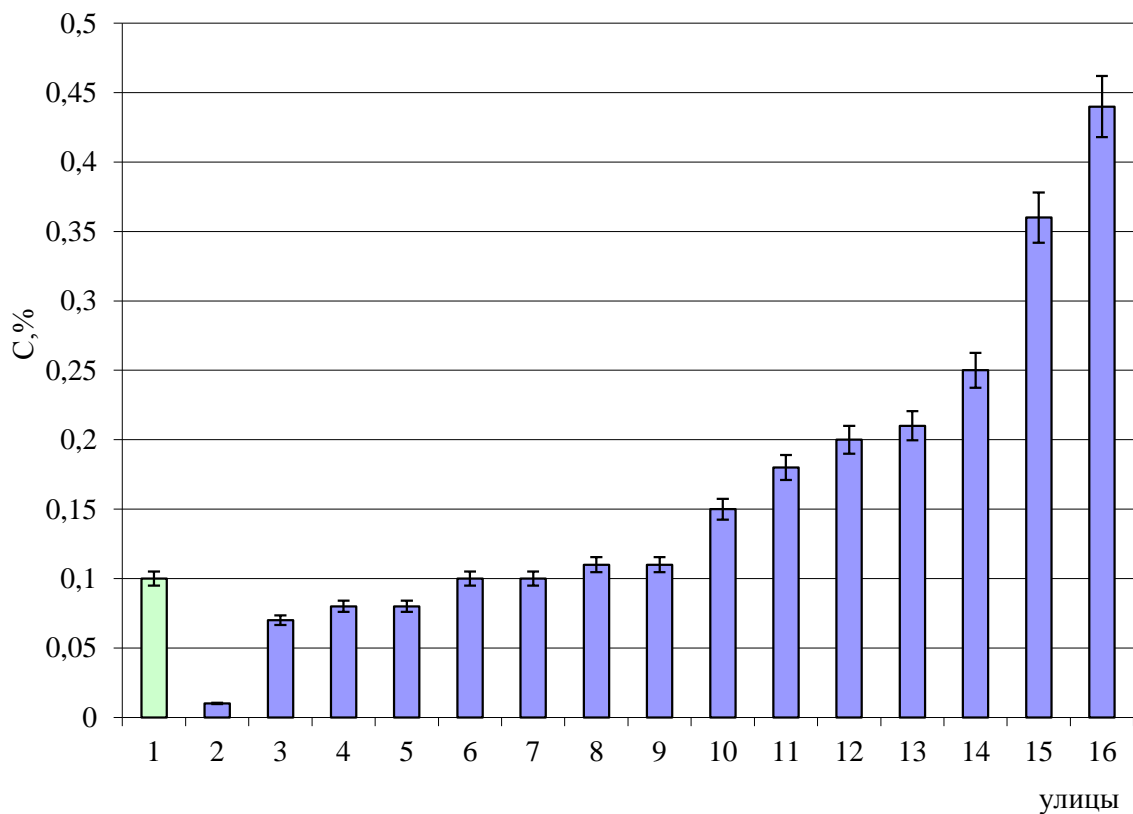


Рисунок 3 – Содержание хлорид-ионов в почве селитебной и рекреационной зоны г. Йошкар-Олы

Обозначения: 1 – Центральный парк культуры и отдыха им. XXX-летия ВЛКСМ, 2 – Я. Эшпая, 3 –Баумана, 4 – Петрова, 5 – Дружбы, 6 – Павленко, 7 – Волкова, 8 – Анциферова , 9 – Машиностроителей, 10 – Кирова, 11 – Пролетарская, 12 – Первомайская , 13 – Пушкина, 14 – Некрасова, 15 –Рябинина, 16 – Зарубина

В селитебной зоне г. Йошкар-Олы, в почве содержание хлоридов изменялось от 0,01 до 0,44% (рис. 3). При этом наименьшее содержание хлоридов было обнаружено в пробах, отобранных на газоне около автодороги по ул. Эшпая. В пробах почвы отобранных на улицах Баумана, Петрова, Дружбы содержание ионов было в 7-8 раз выше по сравнению с предыдущим районом. Содержание хлоридов в почве на улицах Анциферова, Волкова, Кирова, Машиностроителей, Павленко было еще выше, и составляло уже 0,10-0,15%. В почвенных пробах, отобранных на придорожных полосах на улицах Первомайская, Пролетарская, Пушкина, Зарубина и Некрасова, которые располагались в центральной части г. Йошкар-Олы, концентрация ионов была еще выше, и составила 0,20-0,44%.

Наибольшие показатели были характерны для проб, отобранных на ул. Зарубина.

Согласно классификации Н.И. Базилевича и Е.И. Панкова, данное значение свидетельствует о том, что почвы 1 района относятся к незасоленным (менее 0,05%), 8 районов – к слабозасоленным (0,05-0,15%), 4 района – к средnezасоленным (0,15-0,3%), 2 района – к сильнозасоленным (0,3-0,7%).

При проведении однофакторного дисперсионного анализа было выявлено, что фактор – район исследования, оказывал влияние на содержание ионов хлора в почве рекреационной и селитебной зонах г. Йошкар-Олы (табл. 4).

Таблица 4 - Результаты обработки данных (рекреационная, селитебная зоны)

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-значение	F критическое
Между группами	3069,462	3	1023,154	2,793	0,045	2,718
Внутри групп	29305,117	80	366,313			
Итого	32374,579	83				

В дальнейшем, был проведен анализ аккумуляции экополлютанта в почвах промышленной зоны г. Йошкар-Олы. Оказалось, что засоленность почв хлоридами варьируется от 0,08 до 0,36%. Наименьшее значение исследуемого параметра было отмечено при анализе почв, отобранных на ул. К. Маркса. Больше в 1,3-1,5 раз хлоридов содержалось в почвах по ул. Строителей, ул. Лермонтова и ул. Соловьева. Наибольшим содержанием ионов хлора характеризовались пробы почвы, отобранные на ул. Ломоносова - $0,36 \pm 0,012\%$ (рис. 4).

Согласно классификации Н.И. Базилевича и Е.И. Панкова, почвы южной промышленной зоны г. Йошкар-Олы относятся к слабозасоленным - средnezасоленным.

Результаты однофакторного дисперсионного анализа показали, что фактор – место отбора проб оказывал статистически значимое влияние на содержание ионов хлора в почве южной промышленной зоны г. Йошкар-Олы (табл. 5).

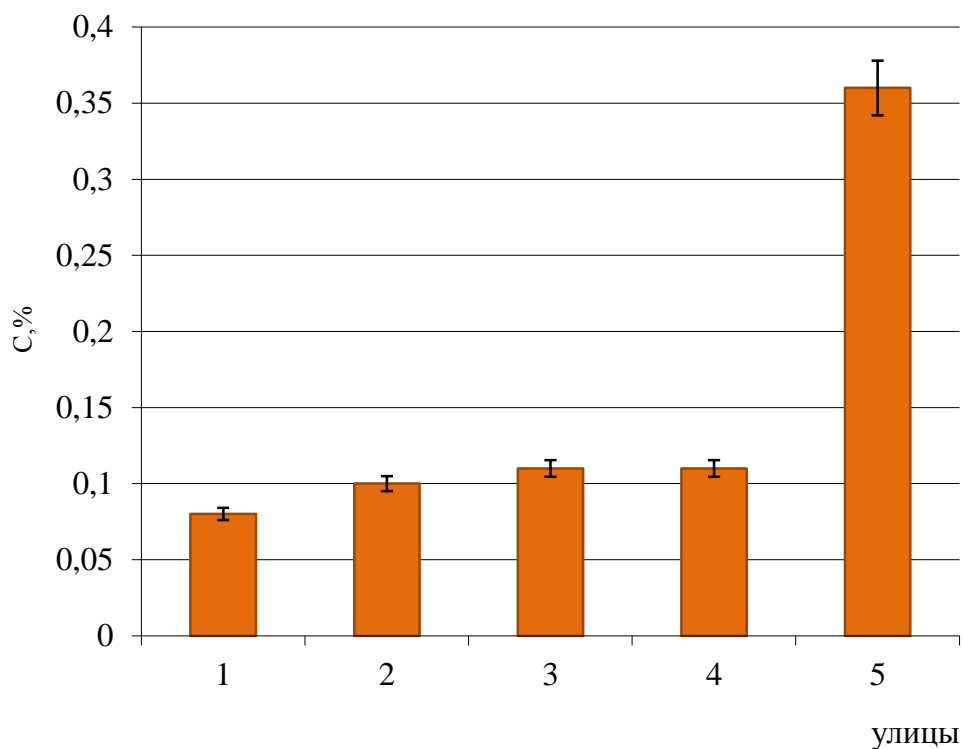


Рисунок 4 - Содержание хлорид ионов в почве южной промышленной зоны г. Йошкар-Олы

Обозначения: 1 - Карла Маркса, 2 - Строителей, 3 - Соловьева, 4 - Лермонтова, 5 - Ломоносова

Таблица 5 - Результаты обработки данных (южная промышленная зона)

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-значение	F критическое
Между группами	0,003	2	0,001	0,122	0,885	3,885
Внутри групп	0,191	12	0,015			
Итого	0,195	14				

По данным Е.С. Закамской и Е.А. Скочиловой (2021) содержание ионов хлоридов на ул. Зарубина составляло 0,03%, а в 2021 году этот показатель вырос в 1,2 раза. В районе улиц Анциферова, Баумана, Волкова, Петрова, Дружбы показатель варьировал от 0,02 до 0,03%. Авторами также было

выявлено, что содержание ионов хлоридов на улицах Лермонтова и Соловьева составляло 0,007-0,140%. Видимо, в 2021 г. на улицах г. Йошкар-Олы были использованы противогололедные смеси, которые содержали большее количество хлоридов.

3.4. Описание возможных локальных участков вторичного засоления городских почв

ПДК в почве - максимально возможное количество, не оказывающее негативного воздействия на здоровье человека и на способность почвы к самоочищению (Литвенкова, 2005). При установлении величины ПДК в почве возникают определенные трудности. Она намного более устойчивый и плотный материал, в сравнении с водой или атмосферным воздухом. В силу этого вредные химические вещества могут накапливаться в грунте, постепенно приближаясь к критическому порогу и, в конце концов, достигая предельно допустимых концентраций (Тювакина, 2018).

В работах многих исследователей указано, что почвы г. Йошкар-Олы имеют низкий уровень загрязнения, это свидетельствует о том, что, несмотря на высокую антропогенную нагрузку, городские почвы сохранили способность самоочищаться (Экология..., 2007, Закамская, Максимова, 2021).

В ходе работы было оценен уровень засоления городских почв и проведено сравнение результатов с гигиеническим нормативом – ПДК=171,5 мг/кг почвы, в пересчете на хлорид ион (табл. 6).

В ходе нашего исследования было установлено, что в пробах почвы, отобранных на территории населенного пункта превышений ПДК нет: рекреационная зона – 0,17 ПДК, селитебная зона – 0,13-0,72 ПДК, южная промышленная зона – 0,13-0,59 ПДК.

Но в тоже время, согласно классификации Н.И. Базилевича и Е.И. Панкова, почвы рекреационной зоны г. Йошкар-Олы относятся к слабозасоленным, почвы селитебной зоны - к незасоленным (1 улица - Я. Эшпая), к слабозасоленным (8 улиц), к средnezасоленным (4 улицы –

Некрасова, Пролетарская, Первомайская, Пушкина) и сильнозасоленным (2 улицы – Зарубина, Ломоносова).

Результаты наших исследований подтверждают данные, которые были получены Е.С. Закамской и Е.А. Скочиловой в 2019-2020 гг., которые обнаружили, что содержание ионов хлора в почвогрунтах в селитебной зоне г. Йошкар-Олы, несколько выше, чем в промышленной зоне.

Таблица 6 – Оценка уровня засоления почв г. Йошкар-Олы

Функциональ- ная зона	Улица	Концентрация хлорид ионов, мг/кг	в долях ПДК (ПДК=171,5 мг/кг в пересчете на хлорид ион)
Рекреационная	Центральный парк культуры и отдыха им. XXX-летия ВЛКСМ	30,0±2,94	0,17
Селитебная	Анциферова	30,0±2,94	0,17
	Баумана	20,0±2,94	0,11
	Волкова	28,3±1,69	0,16
	Зарубина	125,0±8,82	0,72
	Кирова	45,0±2,94	0,26
	Машиностроителей	33,3±4,49	0,19
	Некрасова	38,3±4,49	0,29
	Павленко	30,0±2,94	0,17
	Первомайская	56,7±9,45	0,33
	Петрова	23,3±1,69	0,13
	Дружбы	23,3±1,69	0,13
	Пролетарская	51,7±4,49	0,30
	Пушкина	60,0±14,7	0,34
	Рябинина	86,7±4,49	0,50
Эшпая	40,0±5,88	0,23	
Южная промышленная	Лермонтова	33,3±3,39	0,19
	Соловьева	31,7±4,49	0,18
	Ломоносова	101,7±20,65	0,59
	Карла Маркса	23,3±3,39	0,13
	Строителей	30,0±2,94	0,17

4. ОЦЕНКА ФИТОТОКСИЧНОСТИ ПОЧВ Г. ЙОШКАР-ОЛЫ

4.1. Оценка воздействия почвы на энергию прорастания семян

Энергия прорастания – это показатель, который указывает процент семян, проросших в установленные сроки. Этот процесс определяет способность семян к дружному прорастанию. Энергия прорастания характеризует дружность и скорость прорастания семян. Данный показатель играет важную роль в биотестировании, где определяются первичные результаты: как тест-объект вызывает ответную реакцию на почвенную среду. Диагностика с помощью растительных организмов позволяет оценить экологические функции почвы, показатель энергии прорастания дает начальную, не мало важную информацию об изменении свойств почвы и нарушении разных экологических функций, а также об уровне пригодности почв для растений и наличии загрязняющих веществ.

Доля нормально проросших семян в течение установленного короткого срока, выраженная в процентах от количества семян, представлена на рисунке 5.

Максимальная энергия прорастания (100%) наблюдается в почве с улиц Некрасова и Эшкинина. Как показано на рисунке средние показатели прорастания у большинства образцов достигали 90,0-96,0% в том числе контрольный образец. В дистиллированной воде наблюдался минимальный процент энергии прорастания – 76,6%, это обусловлено отсутствием в растворенных микро- и макроэлементов, что исключает использование данного субстрата в качестве контроля.

Используя однофакторный дисперсионный анализ, было установлено, что энергия прорастания семян горчицы белой, оцениваемая в разных почвенных вытяжках, не имела статистически значимых различий ($P > 0,05$) по всем районам г. Йошкар-Олы, исследованным в нашей работе.

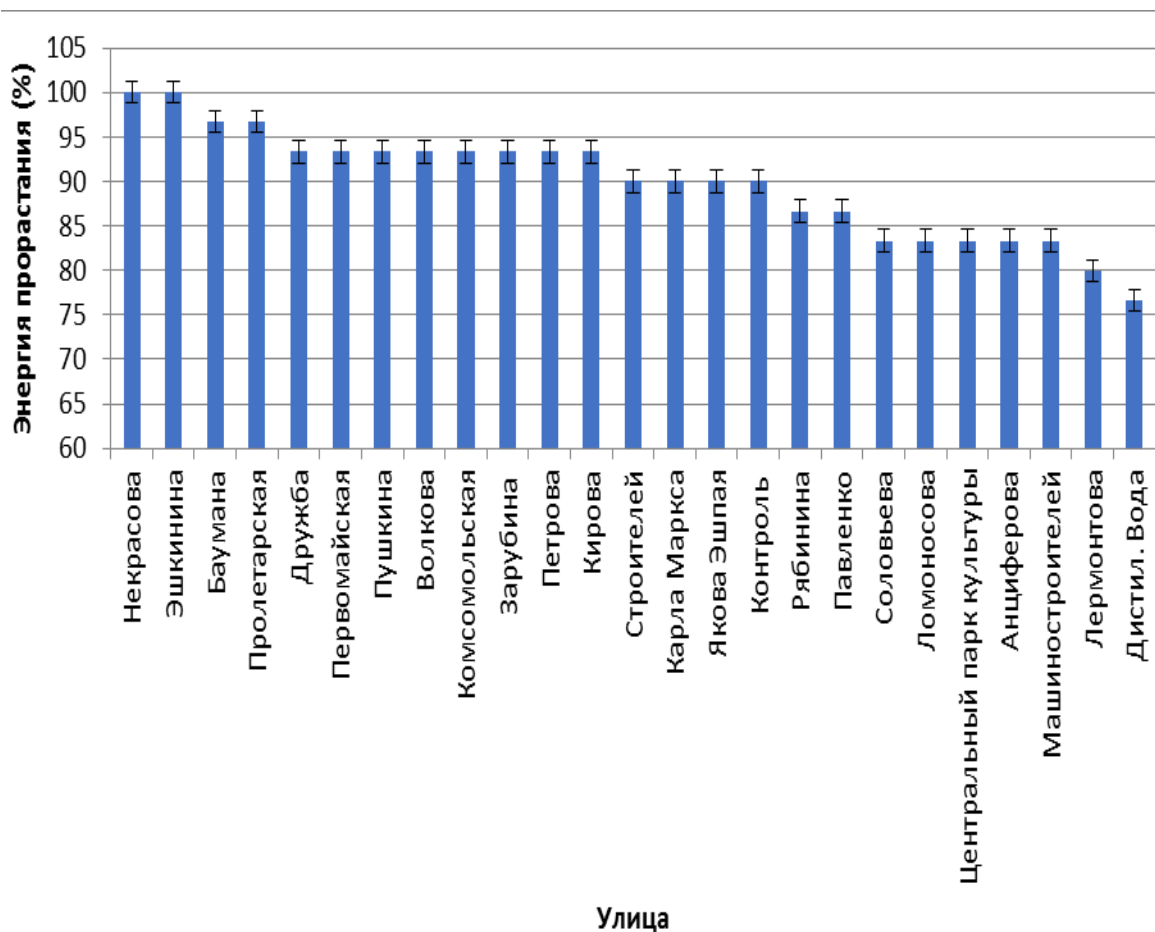


Рисунок 5 – Энергия прорастания семян горчицы белой в почвенных вытяжках и дистиллированной воде

Таблица 7 – Зависимость энергии прорастания семян горчицы белой от района взятия почвенных проб

Эффект	Одномерный критерий значимости для признака «Энергия прорастания» Сигма-ограниченная параметризация. Декомпозиция гипотезы				
	SS	Степени свободы	MS	F	p
Св. член	605701,3	1	605701,3	3441,485	0,000000
Улицы	2698,7	24	112,4	0,639	0,882761
Ошибка	8800,0	50	176,0		

4.2. Исследование всхожести семян горчицы в различных почвенных вытяжках

Всхожесть семян – это способность семян за установленные сроки давать нормальные проростки при определенных условиях проращивания, выраженное в процентах. Этот показатель один из важнейших посевных

качеств, определяющих пригодность семян для посева. Семена, имея высокую всхожесть, способны быстро и дружно всходить. Исследуемый показатель зависит от следующих условий: техники их проращивания, способа уборки и условий хранения (Алексейчук, 2009).

Показатели всхожести семян используются не только в агротехнике, но и для фитоиндикации почв. Нами были проведены исследования всхожести семян горчицы белой в различных почвенных вытяжках.

Как показано на рисунке 6, наилучшие показатели оказались в образцах с улиц селитебной зоны г. Йошкар-Олы таких как Баумана, Дружба, Пушкина, Эшкинина, где всхожесть составила 96,6%. Это свидетельствует о том, что почвы в этих местах не подвержены значительным антропогенным воздействиям. В почвенных вытяжках с ул. Я. Эшпая, Машиностроителей, Перова, Рябинина, К. Маркса всхожесть семян горчицы белой составляла 86,6-90,0%, что почти на 10,0% ниже, чем в первой группе улиц. Это может свидетельствовать о слабом загрязнении почв этих районов, предположительно причинами этого может стать ряд факторов, такие как высокий поток автотранспорта и плотность жилой застройки. В почвенных вытяжках с остальных улиц селитебной зоны всхожесть исследованных семян составляла 90,0-93,3%, что так же указывает на отсутствие существенных источников загрязнения.

Определение фитотоксичности почв южно–промышленной зоны с улиц Соловьева и Ломоносова показало, что здесь отмечено снижение всхожести до 83,3%. Минимальной всхожестью отличались семена, проращиваемые в почвенной вытяжке с улицы Лермонтова - 43,3%. Это существенно ниже, чем во всех остальных исследованных образцах. По шкале оценки фитотоксичности, почва данной улицы имеет среднюю загрязненность. По-видимому, причинами такого негативного воздействия почвы с ул. Лермонтова стало то, что отбор проб проводился вблизи автодороги, около гаражей, где расположены автомойки, так же вблизи проходит железная дорога промышленного назначения.

По результатам однофакторного дисперсионного анализа установлено, что показатель «улицы города» статистически значимо влияет на всхожесть семян горчицы белой ($P < 0,05$).

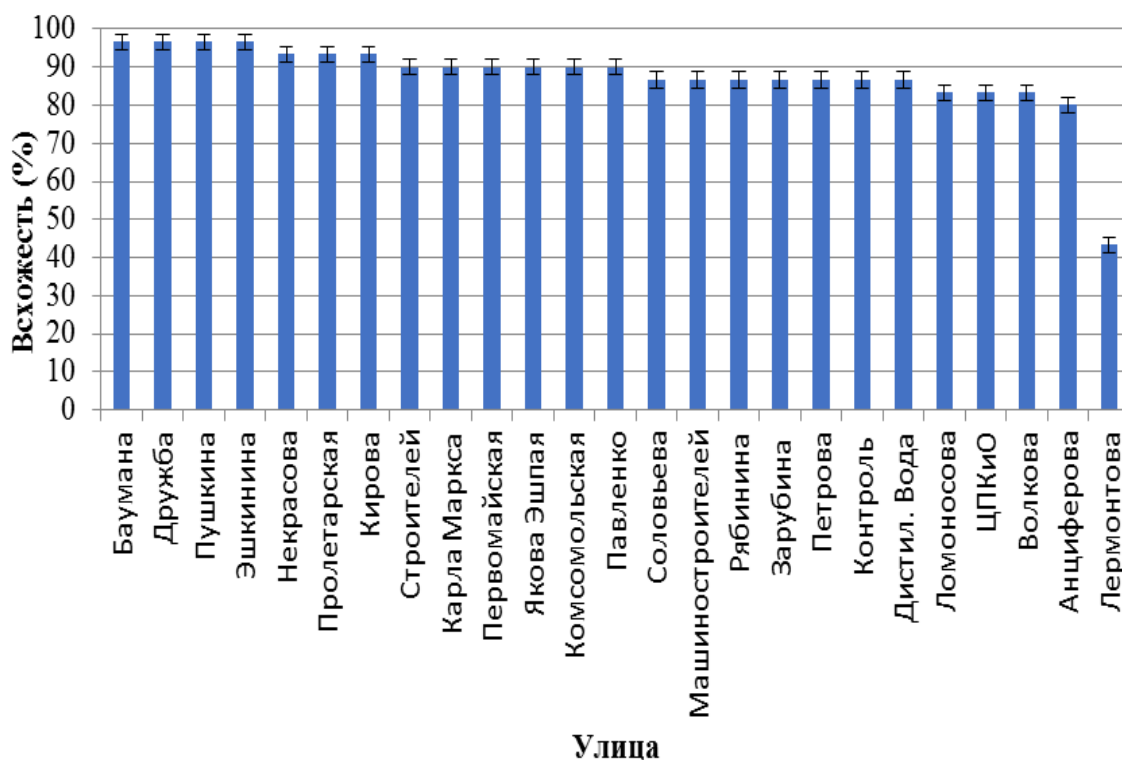


Рисунок 6 – Всхожесть семян горчицы белой в почвенных вытяжках и дистиллированной воде

Таблица 8 – Зависимость всхожести семян горчицы белой от улицы

Эффект	Одномерный критерий значимости для признака «Всхожесть» Сигма-ограниченная параметризация Декомпозиция гипотезы				
	SS	Степени свободы	MS	F	p
Св. член	573781,3	1	573781,3	3498,667	0,000000
Улицы	7618,7	24	317,4	1,936	0,024616
Ошибка	8200,0	50	164,0		

4.3. Оценка фитотоксичности почв по длине главного корня проростков горчицы белой

Изменение длины главного корня горчицы белой в исследованных почвенных вытяжках изображено на рисунке 7. По полученным данным наглядно видно, в каких почвах улиц города существуют отклонения, в связи

с нехваткой необходимых элементов в почве и наличия в нее токсичных, замедляющих ростовые процессы растений загрязняющих веществ.

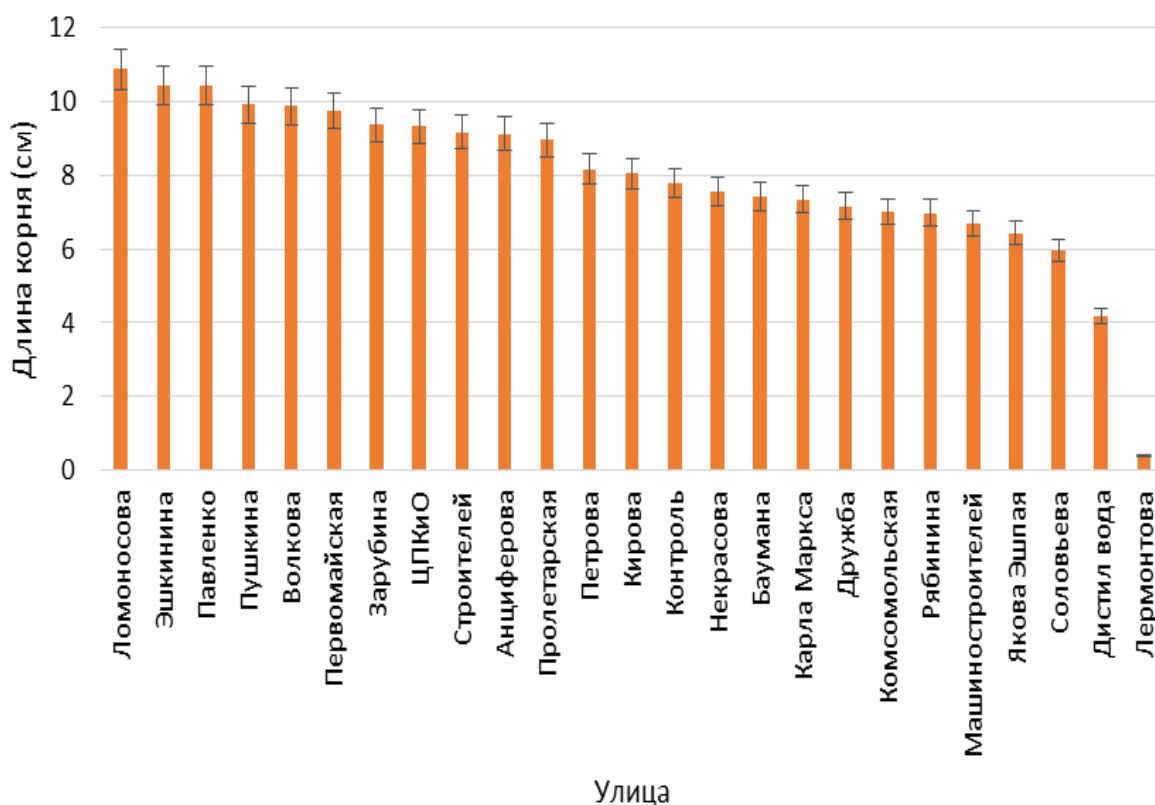


Рисунок 7 – Длина главного корня проростков горчицы в почвенных вытяжках и дистиллированной воде

Минимальная длина корня обнаружена у растений, проращиваемых в почвенной вытяжке с улицы Лермонтова (как и остальные показатели – всхожесть и энергия прорастания). В данном случае средняя длина главного корня составила лишь 0,4 мм, причем внешне изученные корни по сравнению с другими образцами были существенно истончены. Причиной могут являться бедные по количеству питательных элементов почвы, имеющие к тому же в своем составе загрязняющие вещества. Другая часть промышленной зоны – улица Ломоносова, напротив, из всех образцов достигла максимального показателя средней длины главного корня проростков из всех – 10,8 см. При этом всхожесть в данном субстрате не имела статистически значимых различий с остальными образцами. Возможная причина такого явления – наличие низких концентраций загрязняющих веществ, таких, как медь, цинк и т.п., которые в малых

количествах необходимы растениям для роста, что и оказало в определенной мере стимулирующее влияние на ростовые процессы горчицы белой. Другие пробы с этой зоны города показали схожие результаты, вариабельность исследуемого признака была не значительна. Высокая интенсивность ростовых процессов отмечена у растений, проращиваемых в почвенных вытяжках селитебной зоны – улицы Эшкинина – 10,45 см, Павленко – 10,43 см, Пушкина – 9,91 см. В почвах рекреационной зоны – ЦПКиО – были отмечены средние значения, длина главного корня составила 9,3 см. В контрольном образце (готовой почвенной смеси) средняя длина главного корня достигала 7,7 см, это показатель выше, чем в остальных селитебных зонах. Предположительно, в состав данной почвенной смеси входят все необходимые питательные элементы, а загрязнение отсутствует. При выращивании растений в дистиллированной воде рост проростков был незначительным и составлял 4,1 см, что обусловлено отсутствием питательных веществ, необходимых для роста в данном субстрате.

Статистическая обработка результатов по признаку «Длина главного корня» с помощью дисперсионного анализа показала, что исследуемые районы статистически значимо ($P < 0,05$) повлияли на длину средней длины главного корня горчицы белой (табл. 9).

Таблица 9 – Зависимость длины корня проростков горчицы белой от района взятия почвенных проб

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	264,123	3	88,04126	5,609512	0,001446	2,708186
Внутри групп	1381,159	88	15,69499			
Итого	1645,283	91				

4.4. Влияние засоления почв на состояние ассимиляционного аппарата тест-объектов

Хлор является одним из жизненно необходимых микроэлементов для роста и развития растений. В малых дозах хлор активирует

фотофосфорилирование и окислительное фосфорилирование, участвует в энергетическом обмене растений. Он также положительно влияет на поглощение корнями кислорода, соединений калия, кальция, магния (Скочилова, Закамская, 2021).

При адаптации растительных организмов к неблагоприятным условиям среды, в том числе и к засолению, в первую очередь, происходит перестройка физиолого-биохимических процессов (Четина, Устинова, 2019).

Воздействие хлоридного засоления нарушает корневое питание растений, водный обмен, ингибирует процесс фотосинтеза, оказывает существенное влияние на фотосинтетический аппарат растений, отрицательно действует на структурно-функциональное состояние хлоропластов, что приводит к снижению продуктивности и качеству сельскохозяйственных культур (Кононенко и др., 2019).

Основными компонентами фотосинтетического аппарата растений являются хлорофиллы *a* и *b*. В ходе проведенных нами исследований было установлено (табл. 10), что содержание хлорофиллов *a* и *b*, а также суммы хлорофиллов в проростках горчицы белой зависит от района исследования. Наибольшее значение данных показателей были характерны для проростков, проращиваемых на почвах, отобранных в рекреационной зоне г. Йошкар-Олы. Повышение содержания хлорид ионов в почве привело к снижению значений данных параметров у проростков горчицы белой. Наибольшее снижения содержания хлорофиллов *a* и *b*, а также суммы хлорофиллов было отмечено у растений, выращенных на почвенных вытяжках проб почвы из южного промышленного района.

Аналогическая тенденция была выявлена и для проростков овса посевного. В тоже время абсолютные значения по содержанию зеленых пигментов в листьях проростков овса посевного были несколько выше, чем у горчицы белой.

Из литературных источников известно, что содержание и соотношение хлорофиллов зависит от условий произрастания и отражает

адаптированность растений к неблагоприятным факторам среды, поэтому особый интерес вызывает изучение количества хлорофиллов при воздействии стрессовых ситуаций, в том числе засоления, на культурные растения.

Результаты опытов показали, что в зависимости от района отбор проб почвы варьировала и величина – отношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b*.

Таблица 9 – Содержание пигментов в проростках горчицы белой и овса посевного в разных функциональных зонах г. Йошкар-Олы

Вид	Рекреационная зона	Селитебная зона	Южная промышленная зона
<i>хлорофилл a, мг/г сырой массы</i>			
Овес посевной	0,78±0,01	0,62±0,020	0,41±0,020
Горчица белая	0,69±0,009	0,42±0,009	0,29±0,015
<i>хлорофилл b, мг/г сырой массы</i>			
Овес посевной	0,24±0,008	0,21±0,030	0,16±0,010
Горчица белая	0,21±0,012	0,16±0,025	0,11±0,010
<i>сумма хлорофиллов a и b, мг/г сырой массы</i>			
Овес посевной	0,93	0,93	0,57
Горчица белая	0,90	0,58	0,40
<i>a / b, отн. ед.</i>			
Овес посевной	3,25	2,95	2,56
Горчица белая	3,30	2,63	2,64

При увеличении содержания хлорид ионов в почве селитебной и южной промышленной зон г. Йошкар-Олы происходило снижение этого показателя, как в листьях проростков овса посевного, так и горчицы белой.

Значения отношений хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* у изученных видов были выше в рекреационной и селитебной зонах, по сравнению с южной промышленной.

Анализ литературных источников показал, что некоторые авторы приводят данные о снижении количества пигментов при засолении (Гарифзянов, Горелова, 2006), другие же выявили повышение или отсутствие существенных изменений пигментного аппарата (Кононенко и др., 2019).

Таким образом, в условиях почвенного засоления фотосинтез претерпевает существенные изменения в результате токсического и осмотического влияния солей. При этом при прямом воздействии избыточного засоления на фотосинтетические процессы происходят и другие изменения обмена веществ, в частности, водного режима.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значения рН водных почвенных вытяжек в пробах, отобранных на территории г. Йошкар-Олы изменялись от 7,5-8,4. Минимальное значение рН_{Н2О} отмечено для проб почвы, отобранных на территории Центрального парка культуры и отдыха им. ХХХ-летия ВЛКСМ, а наибольшее - на улице Первомайской. Почвы г. Йошкар-Олы являлись мало- и среднепригодными и слабо- и среднетоксичными.

Значения электропроводности вытяжек почвенных проб, отобранных в различных зонах г. Йошкар-Олы, статистически значимо различались. Наибольшими значениями показателя характеризовались пробы почвы, отобранные на ул. Кирова и ул. Зарубина.

В городской почве содержание ионов хлора составило 0,08-0,44% или 40,0-125,0 мг/кг почвы, что значительно ниже ПДК.

Была выявлена слабая положительная связь между содержанием хлоридов в почве и рН_{Н2О} ($r_s=0,176$, $P<0,05$) и электропроводностью водных вытяжек ($r_s=0,304$, $P<0,05$).

Фактор – район исследования оказался статистически значимым при оценке содержания ионов хлора в почве селитебной зоны г. Йошкар-Олы ($P=0,04564023$). Наименьшее содержание хлоридов было обнаружено в пробах, отобранных на газоне около автодороги по ул. Я. Эшпая. Были выявлены очаги хлоридного засоления: среднего засоления (ул. Некрасова, ул. Пролетарская, ул. Первомайская, ул. Пушкина) и сильного засоленным (ул. Зарубина, ул. Ломоносова), что обусловлено применением противогололедные реагентов в зимний период года.

В почвах разных функциональных зон г. Йошкар-Олы всхожесть семян горчицы белой изменялась в пределах 43,0-96,6% и не имели статистически значимых различий с контролем, коэффициент вариации составил 6,7-26,7%, что указывает на средний разброс данных.

Фототоксичное действие на семена горчицы белой оказала почва с ул. Лермонтова (промышленная зона г. Йошкар-Олы), отмечено статистически значимое влияние данного района исследования на исследуемые показатели.

В условиях почвенного засоления фотосинтез претерпевает существенные изменения в результате токсического и осмотического влияния солей. При этом при прямом воздействии избыточного засоления на фотосинтетические процессы происходят и другие изменения обмена веществ, в частности, водного режима.

РЕКОМЕНДАЦИИ

В качестве мероприятий, направленных на снижения загрязнения почв г. Йошкар-Олы, можно рекомендовать следующее:

1) при уборке садово-парковых дорожек и площадок от снега на территориях и объектах зеленых насаждений не применять химические реагенты, в том числе поваренную соль, а использовать строительный или морской песок, который является экологически чистым материалом;

2) дорожными предприятиями необходимо использовать современное оборудование, электронные дозаторы, которые позволяют точно дозировать расход противогололедных реагентов (не более 15 г поваренной соли на 1 м² дорожного покрытия).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алехина Н.Д. Физиология растений / Н.Д. Алехина, Ю.В. Балыкин, В.Ф. Гавриленко. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 406 с.
2. Аликбаева Л.А. Токсиколого-гигиеническая характеристика хлорсодержащих противогололедных материалов / Л.А. Аликбаева, О.Н. Мокроусова, М.А. Меркурьева, А.В. Бек, В.Ю. Садченко // Профилактическая и клиническая медицина. - 2014. - № 4 (53). - С. 25-29.
3. Апкин Р.. Экологический мониторинг / Р.Н. Апкин, Е.А. Минакова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2015. – 127 с.
4. Байбеков Р.Ф. Методы исследования городских почв / Р.Ф. Байбеков, В.И. Савич, М.М. Овчаренко, И.М. Габбасова, Р.Ш. Афзалов . – М.: ФГОУ ВПО РГАУ–МСХА им. К. А. Тимирязева, 2007. – 202 с.
5. Букатов Д.С. Зимняя скользкость и методы ее ликвидации / Д.С. Букатов, Н.А. Ермошин // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. - 2013. - № 3. - С. 37-47.
6. Бухаров А.Ф. Кинетика прорастания семян. Методы исследования и параметры / А.Ф. Бухаров, Д.Н. Балеев, А.Р. Бухарова // Известия ТСХА. – 2017. – № 2. – С. 5-19.
7. Горяшкиева З.В., Щербакова Л.Ф., Цомбуева Б.В. Оценка загрязнения почвенного покрова г. Элиста / З.В. Горяшкиева, Л.Ф. Щербакова, Б.В. Цомбуева // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 3 – С. 75-79.
8. ГОСТ 12038-84 Методы определения всхожести. – М.: Издательство стандартов, 2004. – 15 с.
9. ГОСТ 33777-2016 Метод определения фитотоксичности на семенах высших растений. – М.: Стандартинформ, 2019. – 12 с.
10. ГОСТ Р 58595-2019 Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, биологического и гельминтологического анализа. – М.: 1982. – С. 11.
11. ГОСТ Р 59540-2021 Грунты. Методы лабораторного определения

степени засоленности. – М., 2021. – 5 с.

12. ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. – М.: Стандартиформ, 2010. – 16 с.

13. Гулиев А.Г. Засоление - глобальная экологическая проблема в орошаемом земледелии / А.Г. Гулиев, И.А. Самофалова, Н.М. Мудрых // Пермский аграрный вестник. – 2014. – № 4(8). – С. 32-43.

14. Завальцева О.А. Оценка характера и степени засоления почв урбанизированных территорий (на примере города Ульяновска) / О.А. Завальцева, Л.В. Коновалова, Ж.А. Антонова, В.В. Светухин // Экология урбанизированных территорий. – 2012. – № 3. – С. 98-103.

15. Закамская Е.С. Оценка хлоридного засоления почвогрунтов на территории города Йошкар-Олы / Е.С. Закамская, Е.А. Скочилова // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2021. - Т. 7. - № 3 (27). - С. 218-227.

16. Закамская Е.С. Хемометрическая оценка содержания хлоридов в урбаноземах города Йошкар-Олы / Е.С. Закамская, У.Г. Максимова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2021. -№ 2 (42). - С. 93-102.

17. Калинина, А. В. Экологическая оценка состояния окружающей среды методом биотестирования / А. В. Калинина // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. Хим. Об-ва им. Д.И. Менделеева. – 2007. – №2. – С. 134-136.

18. Королев В.А. Оценка эколого-геологических последствий применения противогололедных реагентов в г. Москве / В.А. Королев, В.Н. Соколов, Е.Н. Самарин // Инженерная геология. - 2009. № 3. - С. 34-43.

19. Кочеткова К.В. Экологические аспекты засоления почв на урбанизированной территории (на примере г. Ульяновска) / К.В. Кочеткова, Р.Р. Фаизов, И.Т. Гусева, О.А. Давыдова // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. – 2014. – № 6-1. – С. 101-103.

20. Кулакова Н.Ю. Засоление почв - одна из проблем городского

озеленения / Н.Ю. Кулакова, Н.П. Шабанова // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2019. – № 2. – С. 10-12.

21. Лыков О.А. Борьба с загрязнением городских почв / О.А. Лыков // Природообустройство. – 2009. – № 4. – С. 49-53.

22. Лященко О.А. Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды / О.А. Лыков. – СПб.: СПб ГТУРП, 2012. – 67 с.

23. Малышева А.Г. Эколого-гигиенические проблемы применения противогололедных реагентов в условиях крупного мегаполиса (на примере территории города Москвы) / А.Г. Малышева, О.В. Шелепова, М.А. Водянова, Л.Г. Донерьян, О.В. Ушакова, С.М. Юдин // Гигиена и санитария. – 2018. - Т. 97. - № 11. - С. 1032-1037.

24. Мотузова Г.В. Экологический мониторинг почв / Г.В. Мотузова, О.С. Безуглова. – М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2007. – 237 с.

25. Никитин А.А. Противогололедные материалы. В поисках компромисса / А.А. Никитин // Уральский экологический вестник. – 2013. – № 3-4 (36-37). – С. 33-35.

26. Николаева М.Г. Биология семян / М.Г. Николаева, И.В. Лянгузова, Л.М. Поздова. – СПб.: РАН, 1999. – 232 с.

27. Пироговская Г.В. Содержание натрия, хлоридов и сульфатов в почвах г. Минска / Г.В. Пироговская, С.С. Хмелевский // Почвоведение и агрохимия. – 2010. – № 1 (44). - С. 243-254.

28. Смагин А.В. Городские почвы / А.В. Смагин // Природа. – 2010. - № 7 (1139). - С. 15-23.

29. Терехова В.А. Биотестирование в экологическом контроле / В.А. Терехова, Д.М. Гершкович, М.М. Гладкова / Под ред. В.А. Тереховой. – М.: ГЕОС, 2017. – 70 с.

30. Терехова В.А. Биотестирование почв: подходы и проблемы / В.А. Терехова // Почвоведение. – 2011. – № 2. – С. 190-198.