

Удмуртская Республика
Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение
Удмуртской Республики «Лицей № 14»

**Всероссийский конкурс юных исследователей окружающей среды
имени Б.В. Всесвятского (с международным участием)**

Номинация «Экологический мониторинг»

Исследовательская работа

**«Изменение химического состава снежного покрова и почвы
как индикаторов кратковременного и многолетнего воздействия выбросов
различных антропогенных источников (на примере г. Ижевска)»**

Работу выполнил:
Мальцев Тимофей Юрьевич,
учащийся 7 Б класса

Руководитель:
Константинова Анна Сергеевна,
инженер каф. ботаники, зоологии и
биоэкологии Института естественных наук
ФГБОУ ВО «УдГУ»

Ижевск, 2026

СОДЕЖАНИЕ

Введение	3
1. Обзор литературы	4
1.1. Роль снежного покрова в природе и городе	4
1.2. Экологическая роль почвенного покрова	4
1.3. Источники загрязнения снежного покрова и почвы в городе	5
1.4. Изменение химического состава почв в условиях города	6
1.5. Краткая климатическая и экологическая характеристика г. Ижевска	6
2. Методика исследования	8
2.1. Исследование повторяемости ветров в зимний период	8
2.2. Отбор проб снега и почвы	8
2.3. Аналитический этап исследования проб снега и почвы	9
3. Результаты и их обсуждение	11
3.1. Оценка повторяемости ветров в г. Ижевске	11
3.2. Исследование химического состава снега в г. Ижевске	12
3.3. Химический состав почв, расположенных в зоне влияния различных антропогенных источников	16
3.4. Оценка токсичности талой снеговой воды и почвы для растений	18
Выводы	23
Список литературы	24
Приложения	26

ВВЕДЕНИЕ

Рост и развитие городов и их инфраструктуры с одной стороны повышает качество жизни человека, а с другой приводит к изменению природных свойств компонентов окружающей среды и их загрязнению. Последнее влечет за собой ухудшение условий пригодности среды обитания как для живых организмов, так и для человека в том числе.

В экологии уделяется всестороннее внимание исследованию урбанизированной среды как среды обитания человека. Основными источниками загрязнения воздуха и почвы в крупных городах являются выбросы промышленных предприятий и автотранспорта. Город Ижевск не исключение. Он является столицей Удмуртской Республики и крупным промышленным центром Предуралья, с более чем 260-летней историей. Именно поэтому мы решили исследовать влияет ли урбанизированная деятельность человека в г. Ижевске на химический состав снега и некоторые важные агрохимические свойства почвы, по которым можно судить не только о плодородии почвы, но и косвенно о загрязнении и качестве условий для жизни человека и растений.

Выбор данных объектов для исследования обусловлен тем, что по снегу, как индикатору чистоты воздуха, можно судить о кратковременном (в течение одного зимнего сезона) влиянии выбросов, тогда как почва в течение многих десятилетий-столетий накапливает загрязняющие вещества, которые могут изменять ее свойства.

Исследования проводились в зимне-осенний период 2025 года в северной части Ленинского района г. Ижевска. Данный район для исследования выбран не случайно – здесь живет моя семья и находится много промышленных предприятий и автодорог, которые своими выбросами загрязняют воздух и окружающую среду.

Цель исследования: на примере г. Ижевска изучить воздействие выбросов от различных антропогенных источников на содержание некоторых химических компонентов в снежном покрове и почве и оценить их фитотоксичность. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Определить в пробах талого снега содержание твердых частиц, растворенных веществ и уровень кислотности.
2. Определить в пробах почвы показатели обменную кислотность и сумму поглощенных оснований.
3. Проверить пробы талой снеговой воды и почвы на фитотоксичность.
4. На основании полученных результатов предложить рекомендации по улучшению.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Роль снежного покрова в природе и городе

Снежный покров играет важную роль в функционировании экосистем (Ландшафтно-экологический образ ..., 2009.). Он оказывает влияние на климат и на энергетический баланс атмосферы благодаря малой теплопроводности, высокой излучательной способности. Думаю, каждый замечал, что с выпадением снега в зимние вечера становится намного светлее.

Снежный покров является источником пресной воды и играет существенную роль в круговороте воды в природе. Снег, запасая влагу в виде талой воды, весной стимулирует развитие растений.

Благодаря низкой теплопроводности снег изолирует землю от отрицательных температур атмосферы и таким образом защищает почву от промерзания, растения от вымерзания, а животных от замерзания.

Снежный покров является местообитанием многих животных в зимний период. А в городе снег еще является одним из факторов самоочищения воздуха от загрязнений. Однако, накапливая в себе загрязнения, при снеготаянии он является источником загрязнения почвы, грунтовых и поверхностных вод.

1.2. Экологическая роль почвенного покрова

Как неотъемлемый компонент наземных экосистем почва выполняет множество экологических функций, которые обеспечивают жизнь населяющих ее организмов и участвуют в поддержании равновесия в биосферном масштабе (Добровольский Г.В., Никитин Е.Д., 2012):

Почва участвует в регуляции речного питания и химического состава грунтовых вод, а также является природным сорбентом, накапливая вредные вещества на пути их миграции в водоемы.

Влияние почвы на атмосферу тоже достаточно обширно. Она непосредственно и косвенно влияет на газовый состав атмосферы, выступает как фактор ее формирования, эволюции и регулирования. Существенное влияние почва оказывает и на влагооборот с атмосферой.

Почва является условием нормального развития литосферы, защищая ее от чрезмерной эрозии, представляет собой источник для образования различных минералов, пород, полезных ископаемых, передает тепловую энергию в нижние слои литосферы и осуществляет биохимические преобразования за счет богатой микрофлоры ее верхних слоев.

Благодаря такому важному свойству, присущему только почве, как плодородие, она обеспечивает все население планеты продовольствием. Она представляет собой среду обитания для живых организмов, и является источником воды и питательных элементов, необходимых для жизнедеятельности растений и почвенной биоты.

Почва выполняет санитарные функции, способствует очищению воды, воздуха, разрушению многих вредных веществ, является барьером для болезнетворных микроорганизмов, вирусов и других источников инфекционных заболеваний. Почва выступает как связующее звено биологического и геологического круговорота, является аккумулятором и источником энергии, и важным фактором эволюции и гомеостаза биосферы.

1.3. Источники загрязнения снежного покрова и почвы в городе

Город является центром интенсивного загрязнения атмосферы и земной поверхности. В зимний период снежных покров становится основным накопителем осаждаемых из воздуха загрязняющих веществ. Затем при снеготаянии накопленные в снеге вещества мигрируют в почву. А в весенне-летне-осенний период основным приемником и накопителем загрязняющих веществ становится почвенный покров. Необходимо учитывать, что снежный покров накапливает продукты деятельности человека только в течение одного сезона, тогда как почва отражает вклад многолетней аккумуляции загрязняющих веществ.

Состав и содержание веществ в цепочке снег–почва в городе главным образом определяется не природными факторами, а зависит от источника, вида, степени и времени влияния хозяйственной деятельности человека.

Основным источником загрязняющих веществ в городе являются атмосферные выбросы от различных промышленных предприятий, автотранспорта, котельных. При этом загрязняющие вещества выпадают из атмосферы в сухом виде и с осадками и накапливаются в снежном и почвенном покрове на больших расстояниях от источников. В снежном покрове, и тем более в почве может находиться во много раз больше загрязняющих веществ, чем в атмосфере (Бокова А.В., 2016).

Одним из источников загрязнения атмосферы в городе является автотранспорт. Число машин постоянно увеличивается, и вместе с этим увеличивается выброс вредных веществ в атмосферу. Двигатель и топливная система автотранспорта является источником таких веществ как: оксид и диоксид углерода, углеводороды (бензолы, формальдегиды, бенз(а)пирен), оксиды азота и серы, тяжелые металлы, сажа. Также при истирании протектора шин в атмосферу попадает резиновая пыль, в состав которой входят вредные вещества (Топчилко Е.В., Сухоцкая С., 2017).

Еще один источник загрязнения почвы и снега особенно в придорожной зоне и вдоль пешеходных дорожек – это использование антигололедных реагентов, в состав которых входят соли кальция, натрия хлорид (это та самая поваренная соль, которую мы используем в пище) и песчаная смесь (которую мы видим на берегах рек). Казалось бы, эти реагенты безвредны. Но в высоких концентрациях эти солевые смеси, и особенно когда они вступают в химическое взаимодействие с металлическими поверхностями днищ автомобилей и их выбросами, такими как моторные масла, пары бензина и солянки, выхлопные газы, становятся мощными загрязнителями.

Другим мощным источником загрязнения воздуха и далее снежного покрова и почвы являются различные промышленные предприятия, которые выбрасывают в окружающую среду тонны загрязняющих веществ в год. В выбросах содержатся газообразные (оксиды серы и углерода) и твердые вещества (оксиды кальция, железа, марганца, кремния, тяжелых металлов и т.д.). Вообще состав выбросов зависит от специфики предприятия (Вальков В.Ф. и др., 2004).

Еще одним источником загрязнения снежного покрова и почвы в городе являются теплоэлектростанции, снабжающие городские застройки теплом. В выбросах котельных и ТЭЦ содержатся сажа, тяжелые металлы, оксиды углерода, азота, серы, бенз(а)пирен и прочие вещества (Вальков В.Ф. и др., 2004).

1.4. Изменение химического состава почв в условиях города

Почвы в условиях города под влиянием деятельности человека по большей части утрачивают свои природные строение, состав и свойства в результате строительства жилой застройки и дорог, прокладывания трубопроводов, расширения инфраструктуры и загрязнения выбросами и сбросами промышленных предприятий. Поэтому в городе выделяется особый тип почвы, называемый урбаноземами. Для них в отличие от естественных почв характерны: повышенная неоднородность гранулометрического состава и его облегчение за счет привнесения песчаных фракций и скелетного материала. Так же, как правило, с поверхности почвы городов сильно переуплотнены, что значительно снижает их пористость и водопроницаемость, и ведет в итоге к нарушению водно-воздушного обмена (Антропогенные почвы..., 2024).

В городских почвах происходит изменение химического состава в результате привноса чуждых элементов-загрязнителей, таких как тяжелые металлы, ртуть, мышьяк, радиоактивные и редкоземельные элементы, оксиды кальция и магния и т.д.. Как следствие в почвах города наблюдается: смещение реакции среды в сторону щелочной, причем не только в городах таежно-лесной зоны, но также и в степной и лесостепной зонах; увеличиваются такие показатели, как емкость катионного обмена и степень насыщенности основаниями. Также в почвах увеличивается содержание гумуса, азота, фосфора и калия. Значительно изменяется элементный состав и его разнообразие (Антропогенные почвы..., 2024).

1.5. Краткая климатическая и экологическая характеристика г. Ижевска

Город Ижевск располагается в центральной части Республики Удмуртия и является крупным промышленным центром Предуралья. История города насчитывает 265 лет с момента основания как железоделательного поселка в 1760 г. На 1 января 2025 г. численность населения г. Ижевска составляет 616 297 чел.

Так как основным фактором, участвующим в рассеивании и распространении выбросов является климат и его составляющие, то кратко охарактеризуем его в г. Ижевске.

Климат Ижевска характеризуется как умеренно-континентальный, с продолжительной зимой, теплым летом и хорошо выраженными переходными сезонами - весной и осенью. Наибольшее количество солнечного тепла достигает поверхности летом, наименьшее зимой, особенно в облачные дни. Среднегодовое атмосферное давление составляет в Ижевске 997 мб. В холодное время года атмосферное давление воздуха выше, чем в теплое. С перепадами атмосферного давления связано возникновение ветра. В Ижевске чаще всего дуют ветры юго-западного направления. Зимой вторыми по повторяемости являются ветры южного направления. Среднегодовая скорость ветра составляет 4 м/с, но зимой скорость ветра выше среднегодового значения. Средняя годовая температура воздуха в Ижевске +2,7 °С. Годовое количество осадков в среднем в городе составляет 510 мм. Из всех осадков на долю жидких приходится 56 %, твердых – 23%, смешанных (мокрый снег, снег с дождем) – 21% (Воздушный бассейн Ижевска, 2002).

По данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Удмуртской Республики в 2023 г.» (2024) основными источниками загрязнения атмосферы в г. Ижевске являются: предприятия машиностроения и металлургии – ОАО «Концерн «Калашников»», ОАО «Ижевский механический завод», ОАО «Ижевский мотозавод «Аксион-холдинг»», ОАО «Ижнефтемаш», Ижевский автомобильный завод «Лада Ижевск», ОАО ИЭМЗ «Купол», ОАО «Ижевский радиозавод», ПАО «ИжСталь»; химическая промышленность – АО «Ижевский завод пластмасс»; предприятия и заводы стройиндустрии – Ижевский завод керамических материалов, Завод железобетонных изделий; предприятия теплоэнергетики ТЭЦ-1, ТЭЦ- 2 и транспорт. Причем на долю автотранспорта приходится от 72 до 85 % от общего объема выбросов загрязняющих веществ. По данным С.А. Гагарина и др. (2019) на 2018 г. объемы выбросов от автотранспорта возросли на 19,7 %, по сравнению с 1991 г., в то время как выбросы от стационарных источников снизились на 67 % (Гагарин С.А. и др., 2019). По данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Удмуртской Республики в 2019 г.» (2020) выброс загрязняющих веществ в атмосферу от промышленных предприятий в целом по городу Ижевску в 2019 г. составил 12,775 тыс.т. При этом наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха г. Ижевска вносят предприятия теплоэнергетики, черной металлургии и машиностроения.

2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Исследование повторяемости ветров в зимний период

Ветер – это главный фактор, который способствует рассеиванию загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах от различных источников. Поэтому для определения мест отбора проб снега и почвы, и определения преимущественного направления рассеивания веществ нами составлялся массив данных за период ноябрь–март (это периоды устойчивого снежного покрова). Для сравнения были взяты 3 периода (ноябрь 2022 г. – март 2023 г., ноябрь 2023 г. – март 2024 г. и ноябрь 2024 г. – март 2025 г.). Ежедневное направление ветра за указанные периоды мы узнали на сайте Расписание погоды – Дневник погоды и вносили их в таблицу. В конце подсчитывали общее количество дней с тем или иным направлением ветра (всего 8 направлений: С, СВ, В, ЮВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ). Далее по этим данным в программе Excel строилась лепестковая диаграмма «розы ветров» для выявления преобладающих ветров за период исследования.

2.2. Отбор проб снега и почвы

Пробы снега отбирались 1 марта 2025 г. с помощью шурфа на всю глубину залегания с подветренной стороны от объекта воздействия (рис.1). При отборе каждая проба нумеровалась и регистрировалась глубина снежного покрова. Пробы отбирались в пластмассовые емкости. При отборе проб снега на площадке учитывались: целостность снежного покрова, т.е. отсутствие нарушения в результате какой-либо деятельности человека, на площадке не должно быть древесной растительности.

Смешанные пробы почвы отбирались в тех же точках что и снег 1 октября 2025 г. методом конверта с площадки размером примерно 10*10 м с помощью совка на глубину до 10 см. Пробы отбирались в полиэтиленовые пакеты и этикетировались.

Для исследования выбрано 5 пробных площадок (ПП) в северной части Ленинского района г. Ижевска, находящихся под влиянием выбросов от различных источников (рис.1.):

1– придорожная зона: 10 м от оживленной крупной 6 полосной автодороги по ул. Новоажимова, по которой ездят все виды транспорта кроме трамвая. Данная дорога связывает район Строителя и Татар-Базара с центром и существует давно (далее в тексте и на рисунках обозначен как «У автодороги»).

2 – окрестности металлургического предприятия ПАО «Ижсталь», 500–700 м на северо-запад от цеха по выплавке стали из чернового металла (металлолома) (далее в тексте и на рисунках обозначен как «У Завода «Ижсталь»»).

3 – окрестности кирпично-керамзитного завода «Керамблоки», около 300 м на северо-восток от предприятия. Также в 50 м проходит автодорога по ул. Олега Кошевого (далее в тексте и на рисунках обозначен как «У Завода «Керамблоки»»).

4 – 30 м на север от границы завода ячеистого бетона («ЗЯБ»), выпускающего строительные блоки из ячеистого бетона, стеновые панели и прочее из железобетона, используемые в строительстве. Также в 10 м проходит ж/д дорога (далее в тексте и на рисунках обозначен как «У завода «ЗЯБ»).

5 – северо-западная окраина г. Ижевска (пос. Вараксино). Пробы отбирались вдали от дорог и домов. Данный участок в нашем исследовании выступает в качестве контрольного, т.к. испытывает минимальное воздействие от деятельности человека (далее в тексте и на рисунках обозначен как «Фон»).



Рис.1. Карта-схема пробных площадок отбора проб снега и почвы

2.3. Аналитический этап исследования проб снега и почвы

Химический анализ проб снега. Отобранные пробы снега топились при комнатной температуре и фильтровались с использованием бумажного фильтра, в результате на фильтре оставалась механическая фракция, а внутри контейнера – прозрачный фильтрат (рис. 2).

В нашем исследовании в фильтрате мы определяли: содержание взвешенных твердых частиц, содержание растворенных веществ и кислотность.



Рис. 2. Отбор и подготовка проб снега к исследованию

Определение твердого осадка в снеге проводили весовым методом (рис.3а). Для этого до начала исследования была взвешена начальная масса бумажного фильтра, затем фильтр взвешивался повторно уже после

фильтрации через него снеговой талой воды и высушивания. Таким образом, по разнице в массе судили о содержании взвешенной фракции в пробах снега.

Кислотность талой воды определялась потенциометрическим методом на приборе Ионмер (рис. 3б).

О содержании растворенных веществ, главным образом солей, в фильтрате талой снеговой воды судили по показаниям портативного прибора солемера TDS-метр (рис.3в).

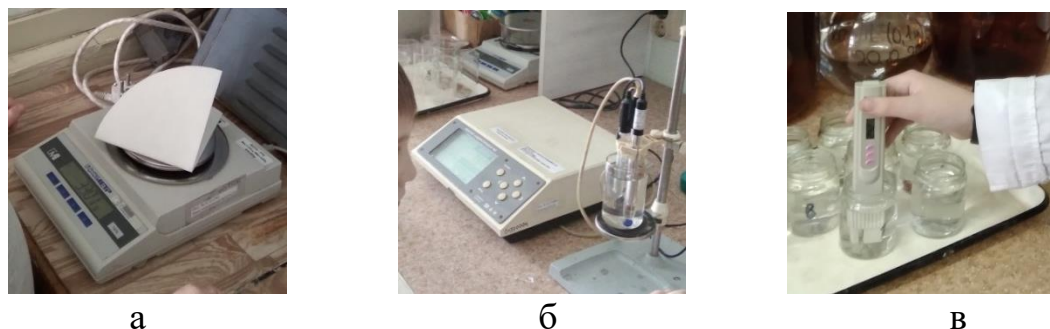


Рис. 3. Определение в талой снеговой воде: а) твердого осадка, б) кислотности, в) содержания растворенных солей

Химический анализ почвы. Пробы почвы в лаборатории высушивались до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре. Затем отбиралась средняя проба методом квартования, которая очищалась от крупных корней, камней и других включений, а далее измельчалась с помощью ступки и пестика и просеивалась через сито 1 мм (рис. 4).



Рис. 4. Отбор, пробоподготовка проб почвы к анализу и определение в них кислотности и суммы поглощенных оснований

В почве согласно общепринятым методикам (Кузнецов М.Ф., 1997) мы определяли такие показатели как обменная кислотность и сумму поглощенных оснований. Для определения обменной кислотности 10 г почвы заливали 25 мл 0,1 н раствора KCl , взбалтывали на ротаторе в течение 1 минуты и определяли значение показателя потенциометрическим методом на приборе Ионмере (рис. 4).

Для определения суммы поглощенных оснований 10 г почвы заливали 50 мл 0,1 н раствора HCl , взбалтывали на ротаторе в течение 1 часа, затем фильтровали почвенную суспензию. Далее отбирали 25 мл почвенного фильтрата, добавляли к нему 2-3 капли фенолфталеина и методом титрования определяли объем $NaOH$ (0,1 н раствор), пошедший на титрование (рис. 4).

Итоговое значение показателя рассчитывали по формуле (Кузнецов М.Ф., 1997).

Биотестирование проб снега и почвы. Для биотестирования проб снега на наличие токсичных веществ использовали семена пшеницы и луковицы лука-севка. Тест с пшеницей проводили при комнатной температуре и естественном освещении в пластиковых контейнерах, в которые выкладывали по 30 семян и увлажняли равным объемом талой снеговой воды с исследованных участков. 1 раз в 2 дня семена увлажнялись этими же фильтратами. Через каждые 2 суток наблюдали за всхожестью и ростом проростков пшеницы. На 8 сутки измерили высоту проростков.



Рис. 5. Оценка токсичности талой снеговой воды на рост и развитие растений

Тестирование талой снеговой воды с помощью лука проводили в тех же условиях в пенициллиновых флаконах (рис. 5). Каждую пробу тестировали в 3 повторностях. Через каждые 2 суток наблюдали за ростом корней и надземной части. На 8 сутки измерили общую длину корней.

Оценку фитотоксичности почвы проводили путем высадки семян горчицы белой (20 шт.) и кресс-салата (20 шт.) в исследуемую почву. До начала опыта проверили контроль всхожести семян, который показал, что из 20 замоченных семян горчицы только в среднем 17 проросли, а кресс-салата – 16. Поэтому эту цифру 17 и 16 штук и брали за 100% при подсчете всхожести семян растений в опыте с почвой. Растения выращивали в контейнерах при комнатной температуре и ежедневном поливе.

Обработка полученных результатов. Полученные данные вносили в таблицу в программе Excel. Далее с помощью инструмента «Графики» строили диаграммы. Статистическую обработку результатов биотестирования проводили с помощью метода «Описательная статистика», где находили среднее и стандартную ошибку. Для установления взаимосвязи между исследованными параметрами в снеге и почве использовали метод «Корреляция». Я узнал, что степень корреляционной взаимосвязи может изменяться от -1 до $+1$. «от -1 до 0 » – это отрицательная зависимость, т.е. при росте 1 параметра, другой уменьшается, а «от 0 до 1 » – положительная, когда один параметр растет и другой вместе с ним тоже. Так как количество образцов почв в нашем исследовании не велико ($n=5$ вариантов), то согласно правилам при таком количестве образцов уровень корреляции должен быть больше $0,805$ или меньше $-0,805$, только в этом случае зависимость можно считать реальной (приложение 2).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Оценка повторяемости ветров в г. Ижевске

Прежде чем приступить к исследованию состава снежного покрова мы решили проследить статистику в какое время за последние 3 года формируется устойчивый снежный покров. Согласно Дневнику погоды осадки в виде снега выпадали в октябре, но быстро стаивали при установлении положительной температуры. И лишь в середине ноября температура воздуха устойчиво опускалась ниже 0°C. Устойчивый снежный покров в 2022 г. начал формироваться 15 ноября, в 2023 г. – 19 ноября, а в 2024 г. – 30 ноября. Поэтому мы решили начать формировать массив данных для установления преобладающих ветров с 15 ноября.

Как мы уже знаем, изучив литературу, снежный покров в зимний период является основным накопителем загрязняющих веществ, оседающих из атмосферы. А в процессах переноса веществ ведущую роль играет ветер. Как уже выше указывалось по данным В.И. Стурмана (2002) в г. Ижевске чаще всего дуют ветры юго-западного направления. Зимой вторыми по повторяемости являются ветры южного направления.

Мы решили проверить сохранилась ли тенденция в направлении ветра в настоящее время. Для этого мы сравнили повторяемость ветров в период ноябрь–март, когда лежит устойчивый снежный покров, за 3 последних года (рис. 6).

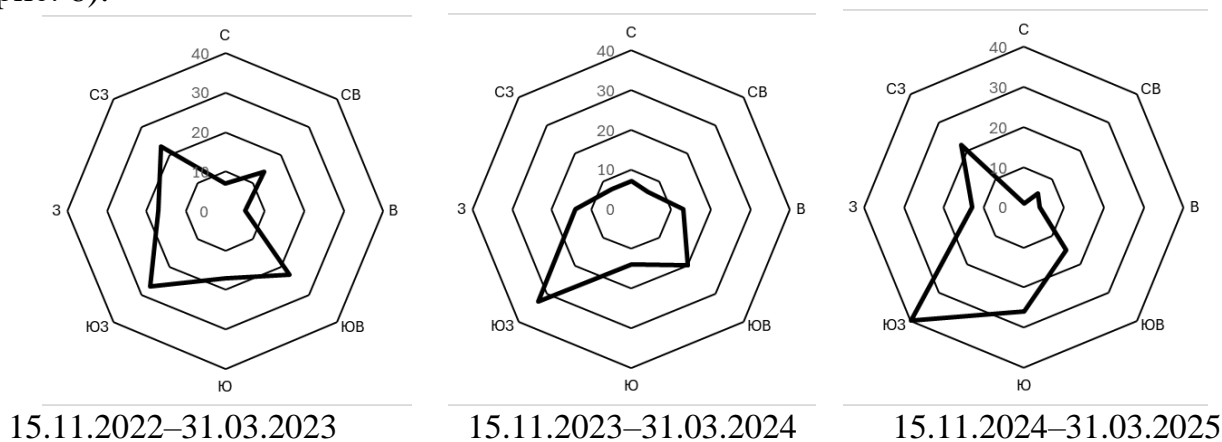


Рис. 6. Повторяемость ветров разного направления в период ноябрь–март в 2022–2025 годы в г. Ижевске

Как видно из графиков «розы ветров» в г. Ижевске в период ноябрь–март преобладают ветры юго-западного направления, на их долю приходится 20–29%. Редко в городе дуют ветры северного и восточного направлений.

Теперь зная преобладающие ветра в городе и то, что загрязняющие вещества оседают на поверхности снежного покрова с подветренной стороны, мы делаем вывод, что лучше отбирать снежный покров для исследования с северной и северо-восточной сторон от объекта выбросов.

3.2. Исследование химического состава снега в г. Ижевске

Одной из задач нашего исследования было сравнить химический состав снега, отобранного в городе в окрестностях различных источников выбросов (автодорога, металлургическое предприятие, кирпично-керамзитный завод, завод ячеистого бетона) с составом снега из чистой зоны. В качестве фонового участка выбрана площадка на окраине города в пос. Вараксино. Для этого в пробах снега исследовались такие показатели, как содержание взвешенных веществ, кислотность, содержание растворенных веществ.

Исследование содержания твердых частиц проводилось весовым методом путем сравнения конечной массы высушенного после фильтрования талой снежной воды фильтра и его начальной массой (рис. 7).



Рис. 7. Ход работы по определению твердых веществ в снеге

Как показали результаты исследования (рис. 8), максимальное количество твердого осадка 160 мг/л наблюдается в пробе, отобранной вдоль оживленной 6-полосной автодороги по ул. Новоажимова, соединяющей большие районы Татар-Базар и гор. Строителей с центром. У кирпично-керамзитного завода обращает на себя внимание красный оттенок снега, обусловленный осаждением из воздуха достаточно крупных твердых частиц глины.

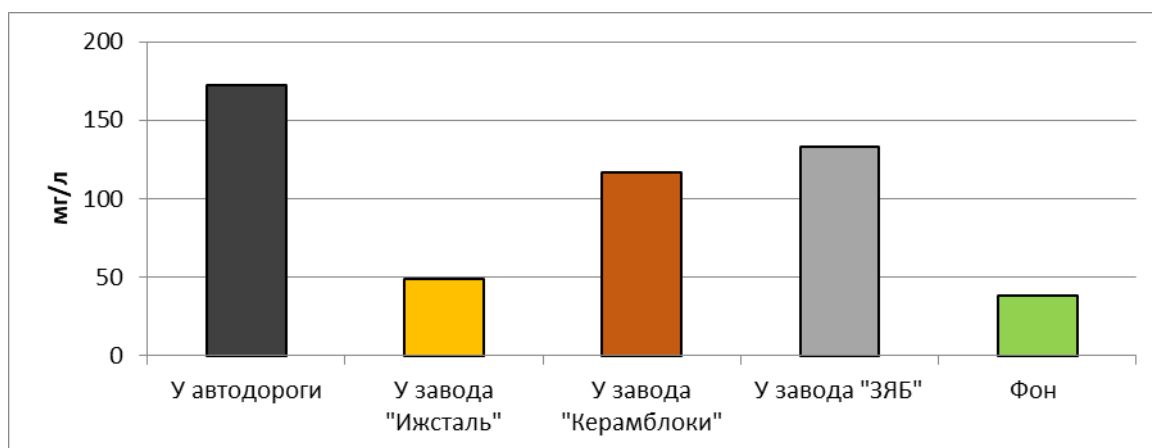


Рис. 8. Содержание взвешенных веществ в снеге

Хочется отметить еще и то, что на площадке вдоль придорожной зоны ул. Новоажимова на поверхности талой воды образовалась пленка, которая

представляла собой слой взвешенных темноокрашенных вкраплений (рис. 9). Обзор литературы показал, что автомобили являются источником сажи и углеводородов (образуется при сгорании топлива, особенно дизельного), резиновой пыли (образуется при истирании шин), моторного масла при неисправности двигателей внутреннего сгорания.

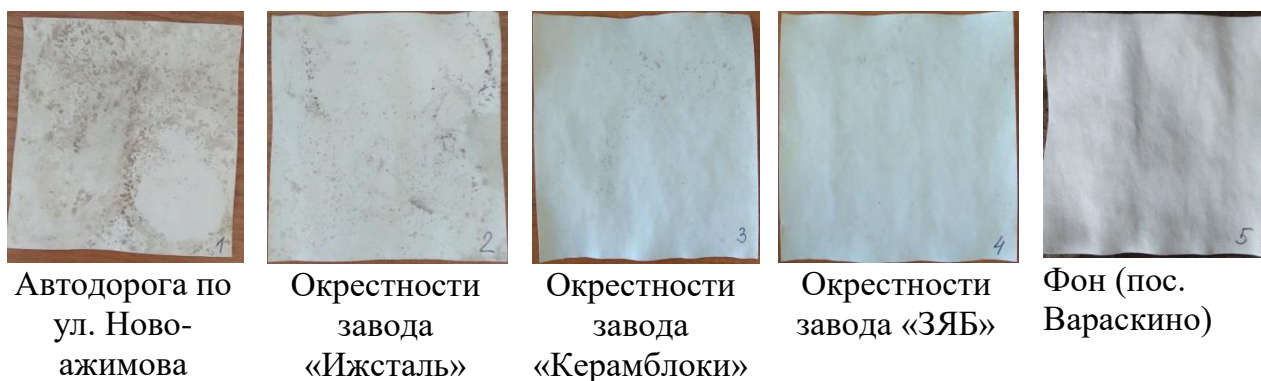


Рис. 9. «Пленка» на поверхности талой снежной воды

Также мы решили проверить твердый осадок на поверхности фильтра на взаимодействие с 10% соляной кислотой. Это реакция является качественной на определение карбонатов. И как показали результаты сильно вскипел осадок только в пробе, отобранной у завода ячеистого бетона (рис. 10). Что говорит о том, что в атмосферу в его окрестностях поступает пыль, содержащая карбонаты. Мы узнали, что основой для производства пеноблоков и газобетона является цемент, который в свою очередь изготавливают из глины и известняка. По-видимому, известняк и является источником карбонатов.



Рис. 10. Реакция твердого осадка на фильтре с соляной кислотой в пробе снега, отобранного в окрестностях Завода ячеистого бетона

Определение кислотности талой снеговой воды показало, что снег в черте города имеет реакцию среды близкую к нейтральной или слабощелочную ($\text{pH}=6,3-7,1$). За городом в поле в пос. Вараскино талая вода имеет кислотность равную 6,2 ед. pH (рис.11). Особенно по показателю кислотности отличается проба снега, отобранная в районе воздействия выбросов Завода ячеистого бетона, здесь реакция среды смещается в щелочную сторону и составляет $\text{pH}=7,1$.

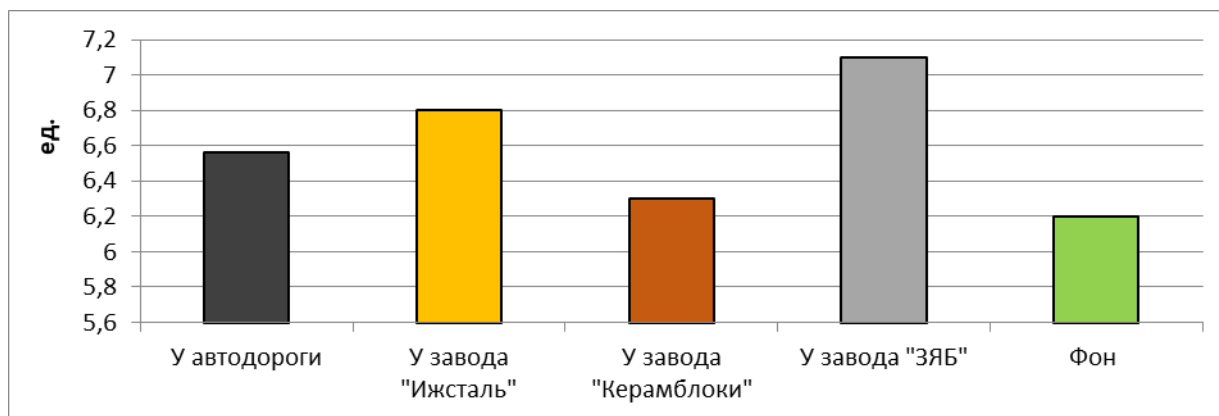


Рис. 11. Кислотность проб снега исследованных участков

Определение содержания растворенных веществ в талой снеговой воде показало наибольшее значение показателя в пробе из придорожной зоны 67 мг/л, что превышает фон в 5,2 раза (рис. 12). Этот показатель зависит от содержания ионов кальция, магния, натрия, калия, хлоридов, сульфатов, карбонатов, а также растворённых солей и части низкомолекулярной органики. Поэтому высокое значение у дороги мы можем объяснить посыпанием проезжей части и пешеходных дорожек песко-соляной антигололедной смесью, содержащей в составе как раз легко растворимые соли натрия (NaCl). В зоне влияния выбросов Завода ячеистого бетона фоновое значение превышено в 3,2 раза, металлургического завода и завода по изготовлению кирпича и керамзита выявлено наименьшее превышение – в 1,7 раз.

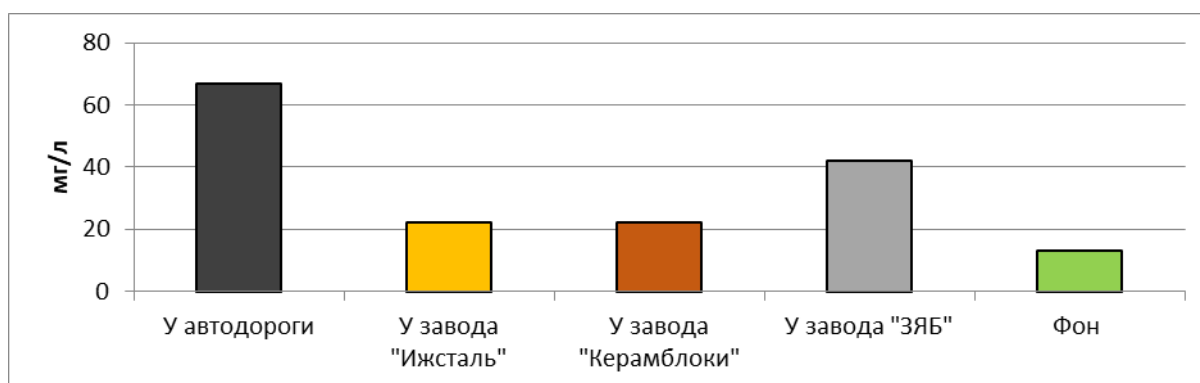


Рис. 12. Суммарное содержание растворенных веществ в пробах снега

Поиск взаимосвязи между исследованными показателями с помощью корреляционного анализа в программе Excel выявил сильную положительную связь ($r=0,88$) между содержанием взвешенных и растворенных веществ (таблица 1). А значит, чем больше оседает и накапливается в снеге твердых веществ и примесей, тем больше с ними привносится растворимых минеральных веществ, в том числе солей. Вероятнее всего, они имеют общий источник поступления.

Таблица 1. Зависимость содержания исследованных показателей в талой снеговой воде между собой

Показатель	pH	Взвешенные в-ва
Взвешенные в-ва	0,276572671	1
Растворенные в-ва	0,384073119	0,881960776

3.3. Химический состав почв, расположенных в зоне влияния различных антропогенных источников

Почва в отличие от снежного покрова в течение длительного времени накапливает вещества, поступающие в нее из воздуха и воды. Поэтому это обязательный компонент при мониторинге уровня загрязнения в городах.

При отборе почв нами было отмечено большое различие между всеми почвами как по цвету (от серого в городе до красноватого за городом), так и по размеру частиц (от супесчаных в городских условиях до суглинистых в пос. Вараксино).

Из большого количества показателей мы выбрали такие как обменная кислотность и сумма поглощенных оснований. Эти показатели просты в определении, не требуют дорогого оборудования, их может определить школьник.

Кислотность почвы связана с присутствием в ней кислот и физиологически кислых солей, которые образуются в процессе разложения органического опада, а также ионов Al^{3+} , источником которых являются минералы почвы. Избыточная кислотность, также как и щелочность, угнетает жизнедеятельность растений и почвенных микроорганизмов, и это приводит к снижению почвенного плодородия (Кузнецов М.Ф., 1997). Результаты определения кислотности в исследуемых почвенных образцах приведены на рис.13.

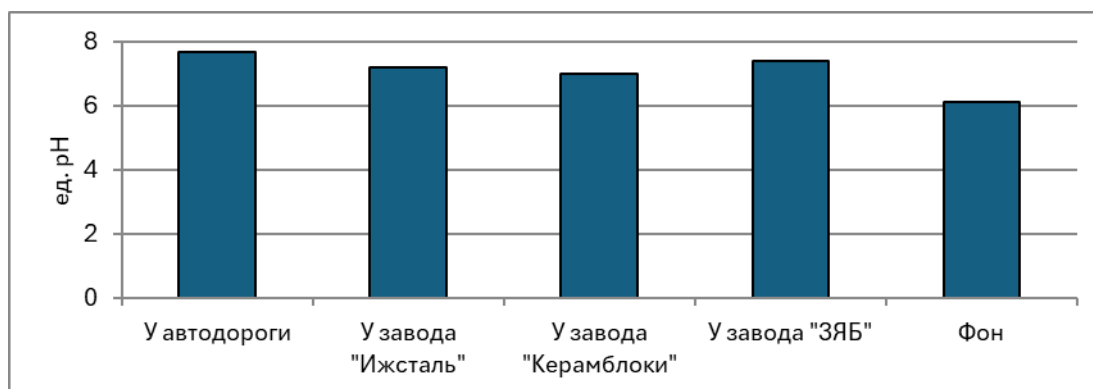


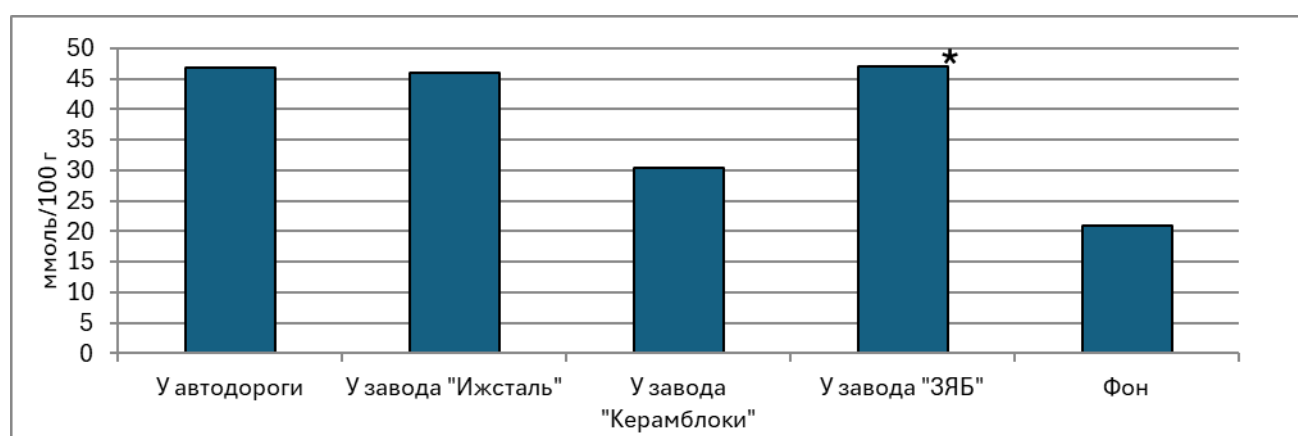
Рис.13. Обменная кислотность исследованных проб почвы

Как видим кислотность городских почв смещается в щелочную сторону (pH=7,0–7,7), как и в снеге. За городом в пос. Вараксино почва имеет слабокислую реакцию среды pH=6,1. Вообще, естественные почвы в Удмуртии, в том числе и в Ижевске, представлены преимущественно дерново-подзолистыми почвами, для которых по природе характерна кислая реакция

среды (Ковриго В.П., 2004). Подщелачивание почв в условиях города выявлено многими учеными (Вальков В.Ф. и др., 2004, Рылова Н.Г., 2003), и это они объясняют избыточным поступлением в городские почвы некоторых веществ и элементов (сажи, тяжелых металлов, оксидов кальция и магния).

Из литературы я узнал, что для большинства травянистых растений для нормальной жизнедеятельности оптимальным является уровень рН равный 5,0-6,5 ед. (Бухарина И.Л., Двоглазова А.А., 2010).

Для косвенной оценки обогащенности почвы питательными элементами (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , микроэлементы и т.д.) используется показатель суммы поглощенных оснований (катионов) (СПО, S) (Кузнецов М.Ф., 1997). Исследование суммарного содержания поглощенных катионов показало, что в городских почвах данный показатель превышает фоновый уровень в 1,4–2,4 раза (рис. 14).



*- проба почвы вскипела при добавлении соляной кислоты

Рис.14. Суммарное содержание поглощенных оснований в исследованной почве

Высокое значение показателя в придорожной зоне ($S=47$ ммоль/100 г почвы) мы можем объяснить содержанием в выбросах автотранспорта сажи и других компонентов сгорания топлива, в том числе свинца, так и компонентов антигололедных смесей, содержащих, например, соли натрия. Также раньше этот участок попадал под влияние выбросов цеха по изготовлению цветных металлов. В окрестностях металлургического завода «Ижсталь» высокое значение суммы поглощенных оснований ($S=46$ ммоль/100 г почвы), скорее всего, связано с поступлением в почву с выбросами значительного количества тяжелых металлов. У завода ячеистого бетона почва при анализе от соляной кислоты очень сильно пенилась, на что мы делаем вывод, что в ней содержатся карбонаты, которые дают реакцию с соляной кислотой с образованием углекислого газа, а значит сила кислоты нейтрализуется. Поэтому о правдивости полученного значения в данной пробе судить сложно, так как например для определения карбонатных почв, использованный метод не подходит (Кузнецов М.Ф., 1997).

Корреляционный анализ зависимости между данными показателями выявил очень тесную положительную связь между уровнем обменной кислотности почвы и содержанием поглощенных катионов в ней (таблица 2).

Таблица 2. Зависимость между показателями обменной кислотности почвы и содержанием в ней поглощенных оснований

Показатель	СПО	pH
СПО	1	
pH	0,916662	1

Это доказывает факт, который приводится в литературе, что катионы, такие как кальций, магний, тяжелые металлы и др., вносят вклад в подщелачивание почвы (Вальков В.Ф. и др., 2004).

3.4. Оценка токсичности талой снеговой воды и почв для растений

Оценка фитотоксичности проб талой снеговой воды проведена по 2 видам растений: пшеница и лук-севок. В ходе эксперимента мы наблюдали за всхожестью семян, измеряли длину проростков или корней. Гипотеза этого этапа исследования: в городе снег содержит какие-либо вредные вещества, замедляющие рост растений.

Автодорога по ул. Окрестности завода
Новоажимова «Ижсталь»



Окрестности кирпично-керамзитного завода



Окрестности завода ячеистого бетона



Фон (пос. Вараксино)



Рис.15. Семена пшеницы, выращенные на талой снеговой воде, на 8-е сутки

В эксперименте прорасть семена пшеницы начали на 3 день, максимальное их количество взошло в загородной пробе снеговой воды (27 штук из 30), всхожесть составила 90 % (рис. 15, 16). Такое же количество семян взошло и в пробе, отобранной в зоне влияния завода ячеистого бетона. Может быть, это связано с благоприятной уровнем pH данной пробы, т.к. именно для нее по сравнению с другими пробами характерна слабощелочная реакция среды (pH=7,1).

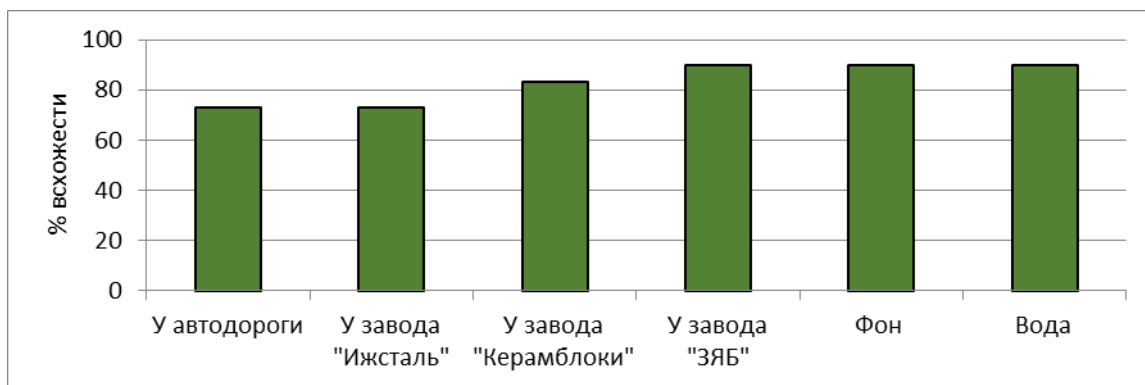


Рис.16. Всхожесть семян пшеницы

Минимальные показатели всхожести по 73 % выявлены в снежных пробах из придорожной зоны и с окраины металлургического завода. Вероятно, это связано как раз с присутствием вредных для роста и развития веществ.

Ростовые параметры растений оценивались на 8 сутки. У пшеницы были замерены средняя длина проростков, у лука измерялась длина корней. Результаты представлены на рис.17.

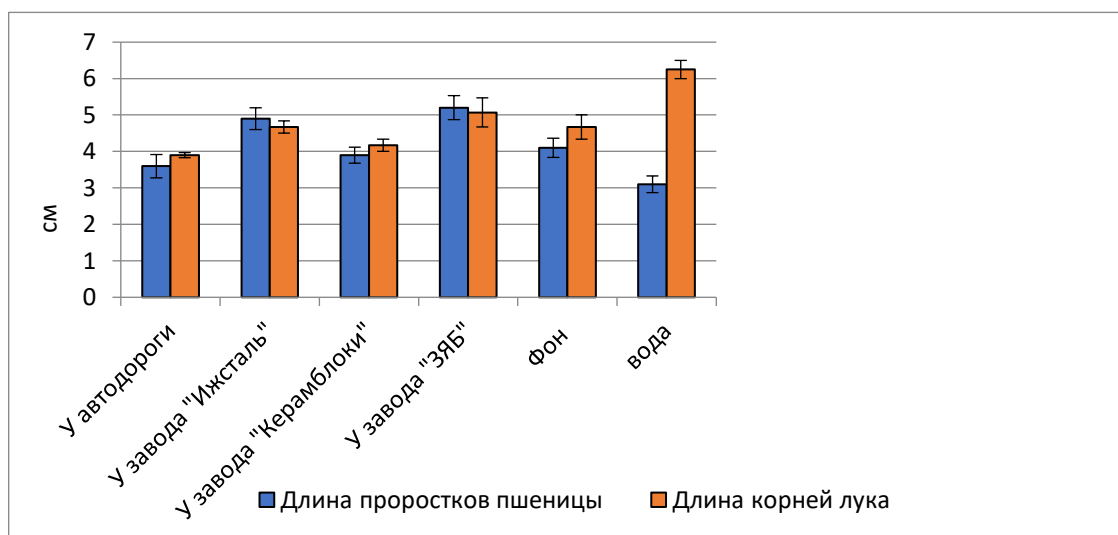


Рис. 17. Ростовые параметры исследуемых тест-растений, выращенных на талой снеговой воде из разных условий загрязнения



Рис. 18. Allium-тестирование талой снеговой воды на 8 сутки

Неожиданно для нас наибольшее значение средней длины проростков пшеницы выявлено в вариантах снеговой воды из окрестности Завода ячеистого бетона (5,2 см) и металлургического завода (4,9 см) (рис.18). Может быть, это связано с тем, что на данных участках талая вода имеет близкую к нейтральной реакцию среды, которая более благоприятна для растений пшеницы (рН=7,1 и 6,8). Минимальная средняя длина проростков пшеницы 3,6 см наблюдается в варианте из придорожной зоны. Возможно, это связано как раз с вредным влиянием повышенного содержания растворенных солей, которых в данной пробе больше всего.

Для лука как и для пшеницы выявлена похожая реакция растений на состав талой снеговой воды. Лук, выращенный на талой воде из окрестностей завода ЗЯБ имеет максимальную длину корней равную 5,1 см, а минимальная длина равная 3,9 см выявлена в варианте из придорожной зоны (рис. 17, 18).

Зная, что кислотность важный фактор для жизнедеятельности большинства живых организмов мы решили также провести корреляционный анализ по выявлению зависимости между кислотностью талой снеговой воды, на которой выращивались растения и исследованными ростовыми параметрами (таблица 3).

Таблица 3. Зависимость между уровнем кислотности талой снеговой воды и длиной надземной и подземной частей у тест-растений, выращенных на ней

<i>Показатель</i>	<i>pH</i>
Всхожесть семян пшеницы	-0,075561426
Длина проростков пшеницы	0,798622063
Длина корней лука	0,550652165

Как видим из таблицы 3 на всхожесть семян уровень кислотности талой снеговой воды не оказал влияния. Тогда как на ростовые параметры пшеницы выявлена положительная зависимость: чем реакция талой снеговой воды ближе к нейтральной или слабощелочной (как в пробах «У завода ЗЯБ» и «У завода Ижсталь»), тем длина проростков пшеницы выше.

Оценка фитотоксичности почвы проведена на кресс-салате и горчице белой. Выбор данных растений связан с рекомендацией их в качестве тест-растений для определения токсического воздействия загрязняющих веществ. В ходе эксперимента мы наблюдали за всхожестью семян и ростом растений на ранних стадиях, выращенных на исследуемой нами почве. Гипотеза этого этапа исследования: почвы, испытывающие влияние антропогенных выбросов, содержат какие-либо вредные вещества, замедляющие рост растений.

Семена кресс-салата и горчицы начали всходить на 3-сутки. На 4 сутки была подсчитана всхожесть (рис. 19). По всхожести мы получили неожиданные для нас результаты: на почве, собранной около крупной автодороги по ул. Новоажимова, которая имеет значения по составу наиболее отличные от фона, растения взошли на 100%. А в загородной почве из пос. Варакино взошло 82 % семян-кресс-салата и 76 % семян горчицы. Возможно, это связано с механическим составом почвы и ее водно-воздушными условиями: у дороги

она более песчаная, а в пос. Вараксино – более глинистая. Наиболее низкий процент всхожести 59 % показали семена горчицы в почве, отобранной в окрестностях металлургического завода «Ижсталь».

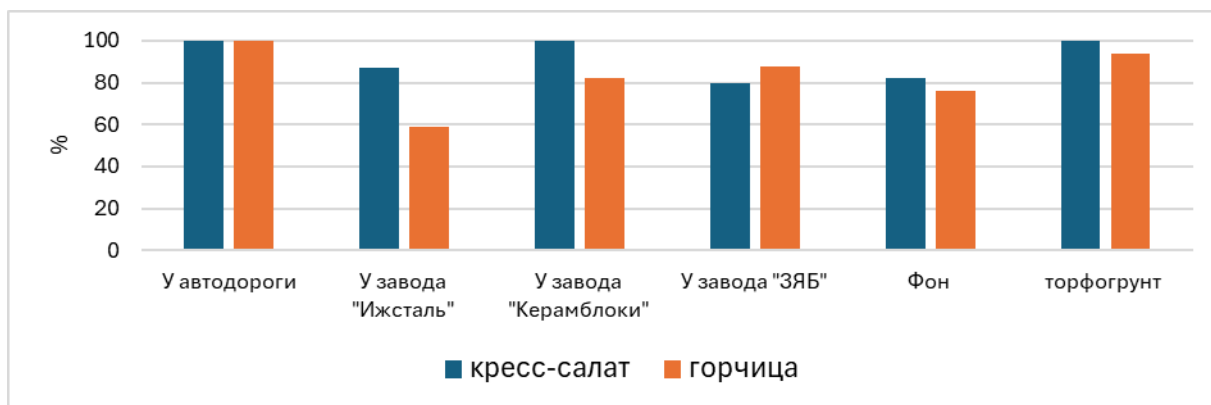


Рис. 19. Всхожесть тест-растений, выращенных на исследуемых пробах почвы

На 12-й день наблюдения мы провели визуальный осмотр растений (рис. 20) и заметили, что в варианте с почвой, отобранной в придорожной зоне крупной магистрали по ул. Новоажимова, листовая пластинка семядольных листьев у горчицы намного мельче, чем в остальных вариантах.



Рис. 20. Тестирование исследованных проб почвы на фитотоксичность

Измерение высоты растений показало, что в пробе почвы «У завода Ижсталь» выявлен самый низкий показатель средней высоты надземной части как у растений кресс-салата (ниже фоновой почвы на 19 %), так и горчицы белой (ниже фоновой почвы на 22 %) (рис. 21).

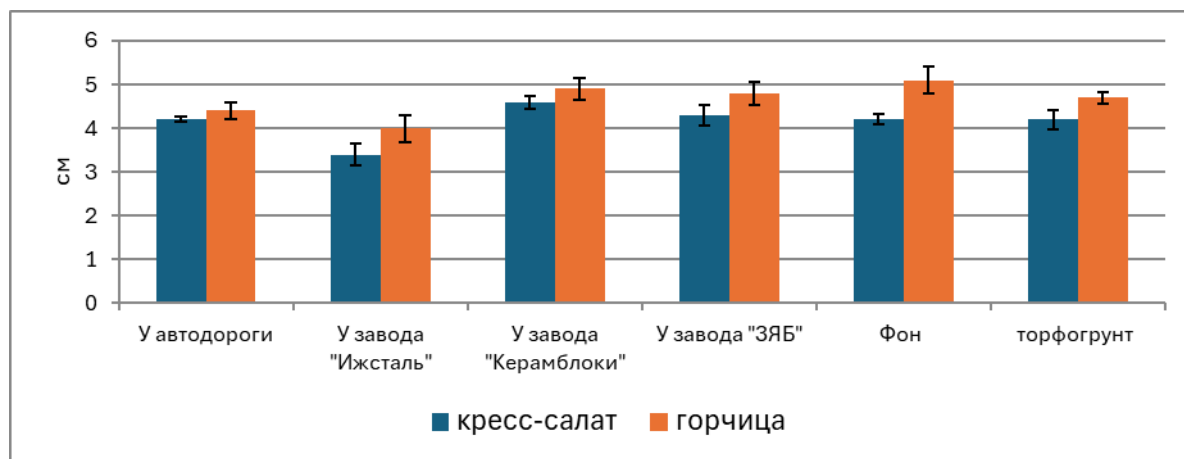


Рис. 21. Среднее значение высоты растений кресс-салата и горчицы белой, выращенных на исследованных почвах, на 12 день наблюдения

При корреляционном анализе не удалось выявить достоверной зависимости (при нашем количестве проб почвы равном 5 штукам степень корреляции должна быть более 0,8 или менее -0,8) между исследованными химическими показателями почвы и ростовыми параметрами растений (табл. 4).

Таблица 4. Зависимость между химическим составом почвы и ростовыми параметрами тест-растений, выращенных на ней

Показатель	высота кресс-салата	высота горчицы	всхожесть кресс-салата	всхожесть горчицы
рН	-0,089031894	-0,606821333	0,413784652	0,440816735
СПО	0,479253279	-0,078115676	0,514958177	0,676027905

ВЫВОДЫ

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. В придорожной зоне в пробах снега выявлено наибольшее содержание твердых частиц (172 мг/л) и растворенных минеральных солей (67 мг/л), которое превышает фоновый показатель в 4,5 и 5,2 раза соответственно. Вероятно, это связано с посыпанием дорожного полотна песчано-солевой смесью, а также с выбросами от истирания шин и сжигания топлива. Снежный покров подщелачивается в окрестностях металлургического завода (рН=6,8) и особенно на окраине Завода по изготовлению ячеистого бетона (рН=7,1). Это может быть связано с тем, что в выбросах металлургического завода, например, содержатся тяжелые металлы, оксиды кальция и магния, которые подщелачивают среду, а в выбросах завода ячеистого бетона обнаружены карбонаты, подщелачивающие среду.

2. Реакция среды в исследованных почвах, находящихся вблизи крупных автодорог и промышленных предприятий, смещается в щелочную сторону. Наибольшее изменение рН=7,7 выявлено в придорожной зоне крупной ул. Новоажимова магистрального значения, где контрольное значение превышено на 1,6 ед. В почве города увеличивается суммарное содержание поглощенных катионов. Наибольшее значение выявлено в почве из окрестностей металлургического завода «Ижсталь» и в придорожной зоне, где значение суммы поглощенных оснований в 2,2 раза выше, чем в почве за городом.

3. Наибольший токсический эффект на всхожесть семян пшеницы, длину проростков пшеницы и корней лука севка оказала проба талой снеговой воды, отобранная в придорожной зоне крупной магистрали по ул. Новоажимова. Вероятно, это связано с влиянием компонентов антигололедной смеси, в состав которой входит хлорид натрия. Исследование фитотоксичности почвы, из тех же мест отбора, показало снижение показателей всхожести семян и высоты растений кресс-салата и горчицы белой в пробе почвы, отобранной в окрестностях влияния металлургического предприятия «Ижсталь». Мы предполагаем, что здесь токсический эффект могут оказывать тяжелые металлы, всегда присутствующие в выбросах металлургических предприятий.

4. Рекомендации по улучшению качества воздуха и почв в г. Ижевске включают вывоз скошенной с газонов травянистой растительности, организацию новых газонов на территориях города, лишенных растительного покрова, высадка древесных растений (в качестве газоустойчивой породы деревьев рекомендуется береза повислая, а породы устойчивой к воздействию тяжелых металлов – тополь бальзамический и клен ясенелистный) и модернизацию старых производств (приложение 1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антропогенные почвы: учебное пособие для вузов / М.И. Герасимова, М.Н. Строганова, Н.В. Можарова, Т.В. Прокофьева. 2-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во Юрайт, 2024. 237 с.
2. Бокова А.В. О чём молчит снег (исследование загрязнения снежного покрова путём биотестирования) // Молодой ученый. 2016. № 9.1 (113.1). С. 11-12. URL: <https://moluch.ru/archive/113/28975/> (дата обращения: 04.03.2025).
3. Бухарина И.Л., Двоглазова А.А. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях: монография. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2010. 184 с.
4. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Экология почв: Учебное пособие для студентов вузов. Часть 3. Загрязнение почв. Ростов-на-Дону: УПЛ РГУ, 2004. 54 с.
5. Воздушный бассейн Ижевска / Под ред. В.И. Стурмана. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. 96 с.
6. Гагарин С.А., Малькова И.Л., Семакина А.В. Вклад выбросов промышленных зон г. Ижевска в формирование медико-экологической ситуации // Известия РГО, 2019. Т.151, вып 6. С. 46-57.
7. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Удмуртской Республики в 2023 году» [Электронное издание] / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Удмуртской Республики; АУ «Управление охраны окружающей среды и природопользования Минприроды Удмуртской Республики» (дата обращения: 04.08.2025).
8. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. Учение об экологических функциях / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. 2-е изд., уточн. и доп. Москва: МГУ, 2012. 412 с.
9. Ковриго В.П. Почвы Удмуртской Республики: монография. Ижевск: Ижевская ГСХА, 2004. 489 с.
10. Кузнецов М.Ф. Химический анализ почв и растений в экологических исследованиях: Учеб. пособие. Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 1997. 102 с.
11. Ландшафтно-экологический образ зеленых островов ВАО. Ч.3. Снежный покров. М.: ДДЮТЭ «Родина», 2009.
12. Лукиных Г.Л. Газон как прием создания устойчивой среды современного города Среднего Урала // Вестник КрасГАУ. 2013. № 2. С. 87–91.
13. Рылова Н.Г. Трансформация почвенного покрова в условиях промышленного города и ее воздействие на растительность (на примере г. Ижевска): автореф. дисс. ... к.б.н. Ижевск, 2003. 19 с.

14. Антропогенные почвы: учебное пособие для вузов / М.И. Герасимова, М.Н. Строганова, Н.В. Можарова, Т.В. Прокофьева. 2-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во Юрайт, 2024. 237 с.
15. Бокова А.В. О чём молчит снег (исследование загрязнения снежного покрова путём биотестирования) // Молодой ученый. 2016. № 9.1 (113.1). С. 11-12. URL: <https://moluch.ru/archive/113/28975/> (дата обращения: 04.03.2025).
16. Бухарина И.Л., Двоглазова А.А. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях: монография. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2010. 184 с.
17. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Экология почв: Учебное пособие для студентов вузов. Часть 3. Загрязнение почв. Ростов-на-Дону: УПЛ РГУ, 2004. 54 с.
18. Воздушный бассейн Ижевска / Под ред. В.И. Стурмана. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. 96 с.
19. Гагарин С.А., Малькова И.Л., Семакина А.В. Вклад выбросов промышленных зон г. Ижевска в формирование медико-экологической ситуации // Известия РГО, 2019. Т.151, вып 6. С. 46-57.
20. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Удмуртской Республики в 2023 году» [Электронное издание] / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Удмуртской Республики; АУ «Управление охраны окружающей среды и природопользования Минприроды Удмуртской Республики» (дата обращения: 04.08.2025).
21. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. Учение об экологических функциях / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. 2-е изд., уточн. и доп. Москва: МГУ, 2012. 412 с.
22. Ковриго В.П. Почвы Удмуртской Республики: монография. Ижевск: Ижевская ГСХА, 2004. 489 с.
23. Кузнецов М.Ф. Химический анализ почв и растений в экологических исследованиях: Учеб. пособие. Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 1997. 102 с.
24. Ландшафтно-экологический образ зеленых островов ВАО. Ч.3. Снежный покров. М.: ДДЮТЭ «Родина», 2009.
25. Лукиных Г.Л. Газон как прием создания устойчивой среды современного города Среднего Урала // Вестник КрасГАУ. 2013. № 2. С. 87–91.
26. Рылова Н.Г. Трансформация почвенного покрова в условиях промышленного города и ее воздействие на растительность (на примере г. Ижевска): автореф. дисс. ... к.б.н. Ижевск, 2003. 19 с.

Рекомендации по улучшению качества воздуха и почв в г. Ижевске

Результаты нашего исследования показали, что в условиях города в результате хозяйственной деятельности человека изменяется состав воздуха и почв. Эти изменения могут быть на начальном этапе даже благоприятными. Например, кислая реакция среды естественных дерново-подзолистых почв в городе сменяется на нейтральную, в почве увеличивается содержание катионов, многие из которых являются полезными микроэлементами для растений. Однако, как показал тест на фитотоксичность, как ответная реакция растений на целый комплекс почвенных факторов, условия для роста и развития растений в городских почвах не такие уж благоприятные.

К тому же исследования элементного состава почв г. Ижевска, проведенные Н.Г. Рыловой (2003), выявили высокие уровни загрязнения тяжелыми металлами. В связи с этим мы рекомендуем в качестве одного из приемов очищения почв от избыточного количества тяжелых металлов вывоз скошенной с газонов травянистой растительности, т.к. растения являются основными накопителями загрязнителей из почвы. Второй прием: засевать газоны и территории города, лишенные растительности, травосмесью. В данном случае растения, во-первых, будут выполнять почвозащитную роль и препятствовать вымыванию верхнего наиболее плодородного слоя почвы. Во-вторых, будут обогащать почву органикой при гибели. В-третьих, под растительными сообществами развивается более богатый микробоценоз. В-четвертых, растения будут аккумулировать избыточные концентрации металлов из почвы. Из работы Г.Н. Лукиных (2013) в качестве быстрорастущей травосмеси с хорошим проективным покрытием мы рекомендуем засевать городские почвы смесью мятлика лугового и различных видов овсяницы.

Для очистки воздуха вдоль дорог и в окрестностях промышленных предприятий необходимо высаживать кустарники или древесные растения. Они, во-первых, поглощают газопылевые выбросы автотранспорта, во-вторых, являются защитным барьером для распространения загрязнителей. В качестве газоустойчивой породы деревьев в литературе рекомендуется береза повислая, а породы устойчивой к воздействию тяжелых металлов – тополь бальзамический и клен ясенелистный (Бухарина И.Л., Двоглазова А.А., 2010).

Помимо посадки деревьев для очистки воздуха в городах необходимо в первую очередь снизить промышленные выбросы вредных веществ путем использования современных технологий очистки, модернизации старых производств. Так как не только жизнедеятельность живых организмов, но и здоровье человека зависит от чистоты воздуха, то человеку пора сознательно и ответственно относиться к природе и ее ресурсам, переходя к рациональному природопользованию.

**КРИТИЧЕСКИЕ ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ
КОРРЕЛЯЦИИ r -ПИРСОНА (r -СПИРМЕНА)
(для проверки ненаправленных альтернатив, n — объем выборки)**

n	p				n	p			
	0,10	0,05	0,01	0,001		0,10	0,05	0,01	0,001
5	0,805	0,878	0,959	0,991	46	0,246	0,291	0,376	0,469
6	0,729	0,811	0,917	0,974	47	0,243	0,288	0,372	0,465
7	0,669	0,754	0,875	0,951	48	0,240	0,285	0,368	0,460
8	0,621	0,707	0,834	0,925	49	0,238	0,282	0,365	0,456
9	0,582	0,666	0,798	0,898	50	0,235	0,279	0,361	0,451
10	0,549	0,632	0,765	0,872	51	0,233	0,276	0,358	0,447
11	0,521	0,602	0,735	0,847	52	0,231	0,273	0,354	0,443
12	0,497	0,576	0,708	0,823	53	0,228	0,271	0,351	0,439
13	0,476	0,553	0,684	0,801	54	0,226	0,268	0,348	0,435
14	0,458	0,532	0,661	0,780	55	0,224	0,266	0,345	0,432
15	0,441	0,514	0,641	0,760	56	0,222	0,263	0,341	0,428
16	0,426	0,497	0,623	0,742	57	0,220	0,261	0,339	0,424
17	0,412	0,482	0,606	0,725	58	0,218	0,259	0,336	0,421
18	0,400	0,468	0,590	0,708	59	0,216	0,256	0,333	0,418
19	0,389	0,456	0,575	0,693	60	0,214	0,254	0,330	0,414
20	0,378	0,444	0,561	0,679	61	0,213	0,252	0,327	0,411
21	0,369	0,433	0,549	0,665	62	0,211	0,250	0,325	0,408
22	0,360	0,423	0,537	0,652	63	0,209	0,248	0,322	0,405
23	0,352	0,413	0,526	0,640	64	0,207	0,246	0,320	0,402
24	0,344	0,404	0,515	0,629	65	0,206	0,244	0,317	0,399
25	0,337	0,396	0,505	0,618	66	0,204	0,242	0,315	0,396
26	0,330	0,388	0,496	0,607	67	0,203	0,240	0,313	0,393
27	0,323	0,381	0,487	0,597	68	0,201	0,239	0,310	0,390
28	0,317	0,374	0,479	0,588	69	0,200	0,237	0,308	0,388
29	0,311	0,367	0,471	0,579	70	0,198	0,235	0,306	0,385
30	0,306	0,361	0,463	0,570	80	0,185	0,220	0,286	0,361
31	0,301	0,355	0,456	0,562	90	0,174	0,207	0,270	0,341