

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт экологии и географии

Кафедра экологии и природопользования

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Верховец С.В.

« ____ » _____ 20 __ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Кресс-салат как тест объект для оценки загрязнения городских почв и
снегового покрова

05.04.06 Экология и природопользование

05.04.06.01 Устойчивое развитие и экологическая безопасность

Научный руководитель	_____	профессор, д.б.н. Е.Я. Мучкина
Выпускник	_____	И.В. Федорович
Рецензент	_____	доцент, к.б.н. И.С. Коротченко
Нормоконтролер	_____	Г.С. Шевченко

Красноярск 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Оценка состояния окружающей среды.....	6
1.1 Природные условия и загрязнение окружающей среды г. Красноярска	6
1.2 Хемилюминесцентная активность как показатель свободно-радикального баланса природных сред.....	12
1.3 Биотестирование как метод оценки загрязнения почвы и снегового покрова.....	17
2 Материал и методы исследования.....	20
2.1 Объект и предмет исследования.....	20
2.2 Отбор, подготовка и анализ исследуемых сред.....	22
2.3 Экспериментальные работы.....	26
3 Результаты исследования и их обсуждение.....	29
3.1 Анализ почвенного покрова и снеготалой воды	29
3.2 Развитие семян и проростков кресс-салата.....	35
3.2.1 Энергия прорастания и всхожесть семян.....	35
3.2.2 Линейные и весовые характеристики проростков.....	38
3.2.3 Сравнительный статистический анализ показателей.....	46
Выводы.....	55
Список использованных источников.....	56
Приложение А Содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвах исследуемых пунктов.....	66
Приложение Б Сравнительная оценка длины и массы проростков кресс-салата в образцах почвенного покрова и снеготалой воды исследуемых районов г. Красноярска с контрольным вариантом по критерию Стьюдента	67

ВВЕДЕНИЕ

В условиях городской среды экосистемы испытывают высокий уровень антропогенной нагрузки. Она отражена как действием автотранспорта, так и действием стационарных источников загрязнения [33]. Сложившаяся экологическая обстановка урбанизированной территории обуславливает антропогенную модификацию сложных естественных факторов. Это определяет характеристики конкретного района, что оказывает воздействие на качество среды. Исследование токсичности почвенного и снежного покровов как сред обитания является важной частью изучения процессов загрязнения. Городские почвы являются депонирующей средой практически для всех поллютантов. Изучение геохимических переносов служит высокоинформативным компонентом [85]. Система почва-растение является начальным звеном пищевой цепи, формирующей поток минеральных и органических компонентов, поглощаемый животным и человеком [19]. Качество снегового покрова демонстрирует влияние разнообразных источников загрязнения атмосферного воздуха на поверхность земли [33].

В связи с широкомасштабной химическим загрязнением природной среды все больший вес принимают исследования механизмов детоксикации и биодegradации чужеродных организму веществ. Но для этих целей необходимы знания о всем комплексе процессов, определяющих условия среды. Накоплено достаточно данных о том, что в формировании среды обитания принимают и имеют значение молекулы, находящиеся в свободно-радикальном состоянии (свободные радикалы) [34; 37; 39]. Исследованиями последних десятилетий была продемонстрирована способность редокс-активных металлов генерировать реактивные радикалы в биологических системах, вызывать окислительный стресс [81]. Отражением данных процессов является свободно-радикальный баланс. Изучение направленности процессов образования и распада свободных радикалов в среде позволяет в определенной степени оценить степень загрязнения исследуемой среды.

Очевидно, что загрязнение почвенного покрова может быть охарактеризовано по уровню, концентрации элементов-токсикантов (тяжелых металлов) по сравнению с предельно допустимой концентрацией. Дополнительной характеристикой при сравнительной оценке сред районов с разной степенью антропогенной нагрузки служит такой показатель свободно-радикального баланса как хемилюминесцентная активность среды. Данный показатель отражает динамику процессов свободно-радикального баланса в естественных условиях сред обитания и при загрязнении.

Существуют множество методов определения степени загрязнения окружающей среды, широкое применение находят методы биотестирования [8; 32; 76; 86; 89; 90; 91; 92]. В работах многих зарубежных и отечественных авторов показана эффективность применения наряду с другими организмами кресс-салата как тест-объекта. Эта тест-культура информативна при комплексном загрязнении, а также при загрязнении исследуемых образцов поллютантами разных типов.

На основании вышеизложенного представляется актуальным изучение и оценка чувствительности ряда тест-откликов кресс-салата как широко применяемого тест-объекта для выявления степени антропогенного воздействия на почвенную среду и снеготалую воду городских территорий.

В связи с этим **целью** данного исследования было выявление значимых показателей тест-реакции кресс-салат при развитии в снеготалой воде и образцах почвенного покрова отдельных районов г. Красноярска в экспериментальных условиях.

Для достижения цели решались следующие **задачи**:

1. охарактеризовать исследуемые среды по уровню хемилюминесцентной активности (снеготалая вода и водная вытяжка почвенных проб), по содержанию тяжелых металлов (пробы почв);
2. изучить в экспериментальных условиях энергию прорастания и всхожесть семян кресс-салата в почвенном субстрате и снеготалой воде;

3. определить размерные характеристики проростков кресс-салата при экспонировании в изучаемых средах;

4. сопоставить показатели развития кресс-салата при биотестировании проб почвенного покрова и снеготалой воды отдельных районов городской территории.

Работа проводилась на кафедре экологии и природопользования Института экологии и географии Сибирского федерального университета под руководством д.б.н., профессора Е.Я. Мучкиной

1 Оценка состояния окружающей среды

1.1 Природные условия и загрязнение окружающей среды г. Красноярска

Город Красноярск ($56^{\circ}04'$ с.ш. и $92^{\circ}45'$ в.д.) находится почти в центре Евразийского материка [1]. Красноярск – краевой центр Красноярского края, который расположен в центре России в Средней и Восточной Сибири. Выделяют три климатических пояса на территории края: арктический, субарктический и умеренный [21].

Средняя температура января от -30 до -36 °С на севере и Среднесибирском плоскогорье и от -18 до -22 °С в районах Енисейска, Красноярска и на юге. Лето в центральных районах умеренно теплое, на юге — теплое [21]. Средняя температура января около $-15,5$ °С, в июле $+19,1$ °С [20]. Средняя годовая температура воздуха в г. Красноярске положительная ($0,5$ – $0,6$ °С). Годовое количество осадков составляет от 338 до 380 мм при довольно резкой разнице в распределении их между основными сезонами [1].

Климатические условия краевого центра определяются несколькими факторами: географическим положением, подстилающей поверхностью, удаленностью от морей и океанов и циркуляцией воздушных масс. Также на формирование климата значительное влияние оказывают, с одной стороны, влажные массы, поступающие с территории Северной Атлантики и Европы, и с другой стороны – частые вторжения воздуха со стороны Арктики и его последующая трансформация. Также в формировании климата играют роль циркуляционные процессы: тепло и влага приносятся юго-западными потоками воздуха из Средней Азии, влага и прохлада летом – северо-западными ветрами с Атлантики и Баренцева моря, засуха летом, длительные морозы зимой, весенние и осенние заморозки – северо-восточными антициклонами. [1].

Для Красноярска характерен резко континентальный климат умеренного пояса Евразии. Этот тип климата характеризуется такими резкими сезонными и внутрисезонными колебаниями климата как продолжительной зимой, так и

коротким летом со значительными изменениями температуры дня и ночи, зимы и лета. Город расположен на обоих берегах Енисея на стыке Западносибирской равнины, Среднесибирского плоскогорья и Саянских гор, в котловине, образованной самыми северными отрогами Восточного Саяна. Красноярск расположен на рельефе территории, имеющий котловинный характер, который усиливает долина р. Енисей, имеющей сложную систему речных террас и водоразделов ее притоков. Река Енисей, на котором стоит Красноярск, делит Сибирь на Западную и Восточную, примерно пополам разделён и сам город, и в ее долине аккумулируется загрязненный атмосферный воздух [23].

Енисей серьезно влияет на климат Красноярска: летом он смягчает серьезную жару, зимой выступает как источник влаги (после строительства Красноярской ГЭС). Рельеф города Красноярска холмистый, вокруг горы, Заповедник Столбы, на границе Заповедника в предгорье расположен Свердловский район, Советский и Октябрьский районы на холмах, Академгородок расположен на Саянском Хребте, часть Центрального и Железнодорожный районы находятся в низине. Город находится в зоне лесостепи и в гористой местности. Красноярские леса – это центральная тайга и южные лиственные леса, здесь произрастает более 450 видов растений. Преобладают лиственница, ель, пихта, сосна, береза, осина [1; 45].

Снежный покров образуется в начале ноября, но прочное его установление происходит в разные сроки. Наибольшей высоты он достигает в феврале-марте (71-30 см). Ветры западного (весной и летом) и юго-западного (зимой и осенью) направлений – господствующие. Кроме естественных процессов значительное влияние на климат Красноярска оказывают антропогенные факторы (функционирующие промышленные предприятия, Красноярское водохранилище, плотные застройки, зоны отдыха и т.д.). Они определяют микроклиматические различия внутри городской территории. После постройки водохранилища в прибрежных частях Красноярска и в центре осадков выпадает больше, чем на окраинах. В основном увеличение объема

выпадающих осадков происходит за счет инея, изморози, росы при высокой влажности над рекой [1].

Территория города относится к Красноярскому лесостепному округу Западно-Присянской провинции островных лесостепей. Своеобразие природных условий обусловило формирование здесь серых лесных почв (39,0 %) с близким представительством подтипов тёмно-серых и серых и в два раза меньшим количеством светло-серых почв, чернозёмов (35,6 %), среди которых широко распространены выщелоченные (21,6 %) и обыкновенные (11,0 %), дерново-подзолистых (10,8 %), в основном супесчаных под сосняками паркового типа, болотных (5,1 %), луговых и лугово-чернозёмных (5,0 %), пойменных (3,9 %) и малоразвитых (0,6 %) почв. Основными типами естественной растительности города, в соответствии с классификацией, принятой для южной части Красноярского края, Хакасии, Забайкалья, северных лесостепей Средней Сибири, являются леса, степи, луга, кустарниковая и водная растительность, болота [1].

Существенной особенностью Красноярска как крупного города является возрастание дифференциации концентраций загрязнения в различных районах. Как правило, периферийные районы, имеют невысокий уровень концентрации. В зонах крупных промышленных предприятий наблюдается увеличение. Увеличение уровня концентрации отмечается в центральных районах промышленных крупных городов, так как там атмосферный воздух на несколько градусов выше, чем в периферийных. Это приводит к тому, что над центром городов появляются восходящие воздушные потоки, которые всасывают загрязненный воздух из промышленных районов [23].

Красноярск является крупным промышленным и транспортным узлом. На функционирование и состояние экосистем в условиях данного крупного промышленного центра большое влияние оказывает химическое загрязнение, источниками которого являются автотранспорт, промышленные предприятия и топливно-энергетический комплекс [44]. Данные источники загрязнения являются основными для данного города.

Городские почвы – депонирующая среда для многих загрязняющих веществ [57]. Сегодня они испытывают на себе продолжающееся хроническое воздействие в виде постоянного привнесения различных поллютантов [43]. Среди прочих загрязнителей находятся соединения тяжелых металлов, оказывающие воздействие на качество среды [44].

Поступление металлов в почву может осуществляться разными путями: из воздушной среды в виде грубодисперсных аэрозолей, которые входят в состав выбросов промышленных предприятий, выхлопных газов автомобилей, со снегом и дождем. Попадая в почвенный субстрат тяжелые металлы прочно сорбируются и взаимодействуют с гумусом почвы и образуют труднорастворимые соединения, то есть происходит их накопление в почвенном субстрате. Помимо этого под влиянием разных факторов происходит постоянная миграция поступивших в почву веществ, а также их перенос на большие расстояния [3].

Тяжелые металлы, аккумулируясь почвой на определенный срок и входя в миграционные циклы природного комплекса, создают новые уже техногенные аномалии. Чрезмерное накопление этих элементов может стать причиной разрушения целостности природного комплекса [9; 42]. Загрязнение почв тяжелыми металлами приводит также к снижению продуктивности городских насаждений, вторичному загрязнению атмосферного воздуха, деградации микробиоценоза почв и их токсификации [6; 82]. Выяснение механизма повреждающего действия избыточных концентраций тяжелых металлов на растения может проявиться в нарушении поступления и распределения других минеральных элементов, ингибировании фотосинтеза, нарушением транспорта ассимилятов, изменением водного и гормонального статуса, торможением роста и др. [59].

Максимальное содержание металлов в почвах наблюдается на расстояниях 1-5 км. от источника загрязнения (ближняя зона). Превышение фонового уровня может быть на 1-2 порядка. По мере удаления от источника загрязнения их содержание уменьшается и на расстоянии 15-20 км. приближено

к фоновому уровню. В загрязненных почвах глубина проникновения обычно не превышает 20 см., при сильном загрязнении металлы проникают на глубину до 160 см. При кислой реакции среды опасность данного залегания состоит в поступлении токсичных металлов в виде водорастворимых форм в грунтовые воды. Равномерное распределение тяжелых металлов характерно для почв, расположенных вне зоны воздействия (влияния) источника загрязнения. Наибольшей миграционной способностью обладают такие металлы, как ртуть и цинк, обычно равномерно распределяющиеся в слое почвы на глубине 0-20 см. Свинец чаще накапливается в слое 0-2,5 см, кадмий занимает промежуточное положение между ними [80].

В естественных условия почвы, а также живые организмы обязательно содержат определенное количество тяжелых металлов [30; 67]. Почти все микроэлементы необходимые для живых организмов представлены именно ими. Поступающие загрязнения из воздуха попадают, в том числе, и на почвенный покров, где аккумулируются в результате миграции, и могут поступать по трофической цепи в компоненты биоты [31]. Тяжелые металлы по опасности воздействия на живые организмы стоят после пестицидов на втором месте, а в ближайшем будущем они, скорее всего, займут первое, что соответствует их месту в ряду технофильности А.И. Перельмана [61].

Основные источники воздействия на атмосферу г. Красноярка оказывают металлургическая промышленность (25%), транспортные и передвижные средства (20%), химическая промышленность (10%) и ЖКХ (10%) [80]. Все это позволяет рассматривать загрязнение почвы Красноярской агломерации как процесс антропогенного изменения ее физико-химических и биологических характеристик.

Согласно работам [20; 78] в г. Красноярске и в пригородной зоне имеют место загрязнения тяжелыми металлами (Co, Cd, Ni, Pb, Zn, Cu, Cr) локального характера. Распространение аномалий тяжелых металлов как правило не выходит за 10 км от источника поступления. Это связано с приуроченностью их к пылевой фракции промышленных выбросов. Рельеф и метеорологические

условия определяют возможное распространение загрязнения в направлении господствующих ветров на 15-30 км, реже – до 100 км. Аномалии подвижных форм гораздо протяженнее, чем по валовому содержанию [44]. Влияние тяжелых металлов на живые объекты, прежде всего, зависит от концентрации подвижных форм, а степень их подвижности определяется геохимической обстановкой и уровнем техногенного воздействия [48; 58].

Исследование химического состава снежного покрова является обязательной частью изучения процессов загрязнения окружающей среды. Именно качество снежного покрова демонстрирует влияние различных источников загрязнения атмосферного воздуха на поверхности земли [16; 33].

Снеговой покров – эффективный накопитель неорганических и органических соединений как в виде твердых частиц, так и в виде аэрозольных веществ, а также тяжелых металлов [15].

Твердая фаза загрязняет снег как правило через осаждение сажи, золы, пыли и дыма. Источники твердых веществ – автотранспорт, тепловые станции. Максимум массы сжигаемого топлива достигается в зимний период, и твердые вещества загрязняют снег в результате гравитационного осаждения. Солево-песчаные смеси в снеговом покрове рядом с автодорогами также являются источником твердых компонентов. В случае их попадания в снег, а затем и в почву происходит подкисление или подщелачивание среды, что влечет за собой необходимость дополнительного контроля уровня pH. Уровень pH чистого снега составляет 5,6. Это связано с наличием в воздухе CO², образующим угольную кислоту, подкисляющую атмосферные осадки. Если в воздухе много оксидов азота, сернистого газа, диоксида серы и других кислотных оснований, то снег будет иметь величину pH < 5,6 (снег кислый). Если снег имеет значение pH выше 5,6, то он щелочной и загрязнен оксидами металлов, автомобильными выхлопами [66].

Загрязнение снегового покрова происходит в два этапа. Первый – загрязнение снежинок во время их образования в облаке и выпадение на местность – влажное выпадение загрязняющих веществ со снегом. Второй –

загрязнение уже выпавшего снега в результате выпадения загрязняющих веществ из атмосферы и их поступление из горных пород и после различной деятельности человека [27].

Состояние снегового покрова, являясь характеристикой зимних загрязнений окружающей среды, определяет последствия хозяйственной деятельности человека. Он накапливает за зимний период поллютанты и потом отдает их весной в процессе снеготаяния в окружающую среду. Примеси, попадая в почву, могут привести к их загрязнению, а также загрязнению грунтовых вод. С талыми водами загрязняющие вещества могут мигрировать от места выпадения на значительное расстояние, то есть снеговой покров способствует их перераспределению во времени и в пространстве.

Состояние снегового покрова является частью локального воздействия урбанизации на среду. Изучение данной проблемы позволяет внести вклад в создание общей картины последствий антропогенного загрязнения [9; 14; 46; 52].

1.2 Хемилюминесцентная активность как показатель свободно-радикального баланса природных сред

В настоящее время все большее значение приобретают исследования, посвященные особенностям экологического равновесия в биосфере, механизмам его поддержания или нарушения, причем пристальное внимание уделяется механизмам с участием различных химических соединений, выполняющих функции метаболитов. Последнее напрямую связано со структурно-функциональной целостностью экосистем, их динамикой и устойчивостью; с регуляцией межорганизменных отношений в различных экосистемах; с возрастающим антропогенным воздействием на биосферу химического загрязнения, ведущего к нарушениям экологических процессов и экологического баланса во многих ее регионах. С этих экологических позиций, чрезвычайно важно понимание характера взаимодействия как биосистем

(клеток, тканей, органов) отдельных особей – живых организмов (формирующих по Н.Ф. Реймерсу разделы «эндоэкологии»), так и взаимодействия между организмами (разделы «экзоэкологии»). Для понимания механизмов поддержания и нарушения экологического равновесия или устойчивости экосистем большое значение приобретает накапливающаяся важная информация на стыке экологии, биофизики, биохимии, химии и физиологии – физико-химическая экология [65].

Физико-химическая экология – важный раздел эндоэкологии, включающий: биофизическую экологию, биохимическую экологию и молекулярную (химическую) экологию. Предметом биофизической экологии являются экологические основы организации, регулирования, термодинамики и динамики био- и экосистем [40]. Биохимическая экология изучает роль и функции экологических хемомедиаторов в биосфере [11; 69].

Третьим разделом физико-химической экологии является молекулярная или химическая экология. В основе ее лежат исследования процессов определяющих современное состояние биосферы и состояние веществ, связанных с химическими превращениями; процессор окружающей среды, находящихся под воздействием антропогенных нагрузок на биоту и абиотические компоненты экосистем. Данное направление анализирует, как правило, именно химическое загрязнение природной среды, характеризует основные химические загрязнители и способы определения степени загрязнения, а также разрабатывает физико-химические методы по борьбе с подобными загрязнениями [36; 40].

В связи с нарастающим химическим загрязнением окружающей природной среды, принимающим широкомасштабный характер, все больший вес и значение приобретают исследования механизмов детоксикации и биodeградации чужеродных веществ (поллютантов, ксенобиотиков). Важным фактом при этом является то, что химическое загрязнение может нарушать естественные коммуникативные связи между организмами. Накопилось достаточное количество данных о том, что в формировании среды обитания

таких организмов принимают участие не просто химические медиаторы, а активные формы молекул, находящихся в свободно - радикальном состоянии (так называемые «свободные радикалы» – атомы или осколки молекул неорганической или органической природы, обладающие огромной реакционной способностью и этим самым влияющие как на протекание обменных процессов в живых клетках организма, так и в отдельных экосистемах). Организмы (биосистемы) или экосистемы имеют разный стационарный уровень концентрации свободных радикалов. Данный уровень отражает различную степень интенсивности протекания окислительных свободно-радикальных реакций, который регулируется другой системой – антиокислительной (молекулами-антиоксидантами) [35, 38].

Для разных типов морских беспозвоночных показано, что при изменении солености среды происходит повышенный расход антиоксидантов и развитие окислительных свободно-радикальных перекисных реакций в липидной фазе клеток организмов. Организмы, неустойчивые к опреснению (морские ежи, морские звезды) в результате быстрого израсходования антиоксидантов и резкого возрастания окислительных радикальных реакций при изменении солености быстро погибали. Наоборот, у организмов, более устойчивых к опреснению (актинии, балянусы) этот процесс протекал более медленно [40].

Антиоксиданты и пероксид водорода имеют большое значение как характеристика, формирующая окислительно-восстановительные условия в окружающей природной среде. Данные условия и уровень концентрации свободных радикалов заметно влияют на состояние организмов, обитающих в водных экосистемах (само же воздействие выделяемых гидробионтами названных веществ в данном случае направлено во все стороны экологической пирамиды при рассмотрении трофических связей), а также на скорость окислительного разрушения растворимых естественных и загрязняющих водоем органических веществ. Похожая функция экзометаболитов существенна, вероятно, и в почвенном блоке экосистем [36; 40].

Свободно-радикальный баланс (отношение концентрации свободно - радикальных состояний к количеству антиоксидантов в системе) существенно изменяется при различных физиологических воздействиях и патологических состояниях организма. Существенна роль свободных радикалов в биосфере и ее частях – атмосфере, гидросфере и литосфере: образование озона (двойственная роль: «озоновый щит» на высоте 10 - 30 км – защита Земли и ее обитателей от поражающего действия УФ - света, но «сверхокислитель» - в нижнем ярусе тропосферы, стимулирующий высокий уровень протекания свободно-радикальных окислительных реакций неорганической и органической природы, образование оксидов азота и серы (промышленное производство), явление фотохимического смога (автотранспорт и пр.), действие сильнейшего окислителя и яда – треххлористого углерода, детергентов, пестицидов, поверхностно-активных веществ. Рассмотренные примеры – демонстрация несомненной роли свободно-радикального баланса как «химического регулятора» в био- и экосистемах [35; 38; 40].

Сверхслабое свечение живых организмов, клеток, тканей, органов, биологических жидкостей и субстратов является разновидностью широко распространенного в природе явления – биолюминесценции [28; 53]. Как правило, различают видимую глазом физиологическую биолюминесценцию и сверхслабые излучения, регистрация которых возможна только с помощью высокочувствительных детекторов – фотоэлектронных умножителей [28; 53]. Проведенные с их помощью исследования выявили, что все клетки, кровь, внутриклеточные структуры постоянно спускают слабые световые потоки в видимой области спектра (360–800 нм) [77]. Интенсивность излучения зависела от уровня обменных процессов, влияющими факторами выступали температура, парциальное давление кислорода [77]. С открытия сверхслабого свечения тканей и клеток этот процесс превратился в предмет многочисленных исследований, целью которых являлось изучение природы и открытия причин изменения интенсивности данного излучения [77].

В настоящее время накопленные сведения позволяют считать, что сверхслабое излучение биологических структур, скорее всего, является результатом ферментативных и неферментативных процессов (реакций), протекающих с образованием свободных радикалов разного происхождения. Образование и рекомбинация свободных радикалов сопровождается хемилюминесценцией [77]. Данный метод регистрирует даже самые активные радикалы, концентрация которых может быть очень мала, так как интенсивность свечения обычно пропорциональна скорости их рекомбинации, а не их концентрации [17; 18; 63]. Но исследование лишь показателя спонтанного излучения делает невозможным возможность судить о причинах изменения скорости свободно-радикального окисления. Для решения этой задачи прибегают к искусственному инициированию свободно-радикальных реакций разными химическими и физическими воздействиями, в частности путем добавления люминола и люцигенина с дальнейшим анализом вызванной хемилюминесценции [77].

Люминол (5-амино-2,3-дегидро-4-фталазиндион) в присутствии активных форм кислорода окисляется и дает электронвозбужденные карбонильные хромофоры с высоким квантовым выходом. Это резко увеличивает интенсивность свечения, связанного с образованием активных форм кислорода. В последнее время это явление широко применяется для изучения функционального состояния фагоцитарного звена иммунитета. Показатель светосуммы при измерении интенсивности хемилюминесценции является интегральным показателем генерации активных форм кислорода [77]. Он отражает общее количество образовавшихся радикалов за выбранный промежуток времени [63]. Люминол является химическим активатором, чувствительным к активным формам кислорода, люцигенин – селективен к супер-оксидным анион-радикалам.

Известно, что поступление в организм различных химических загрязнителей окружающей среды может способствовать нарушению процессов свободно-радикального окисления, которое является неспецифической

ответной реакцией организма для поддержания гомеостаза приспособления и меняющимся условиям. Как правило, оно предшествует появлению морфологических и других симптомов повреждения и во многих случаях является причиной их развития [12]. Установлено, что избыток свободных радикалов и перекисных продуктов вызывает повреждения биологических мембран (структурные и функциональные), оказывает влияние на активность ферментов, белков, липидов и т. д. [74]. К перспективным способам исследования свободно-радикального окисления является регистрация хемилюминесценции, которая возникает при взаимодействии радикалов. [12].

Достоинствами данного метода являются высокая чувствительность, возможность определения короткоживущих радикалов, не регистрирующихся другими способами. Широкая возможность использования хемилюминесценции в практике и в научных работах подтверждается материалами международной конференции «Клиническая ХЛ». [12]. Для области медицинской практики исследование хемилюминесценции биологического материала приобретает диагностическое и информационное значение. Также хемилюминесцентный метод анализа является аналитическим методом детектирования концентрации вредных веществ (оксидов азота, озона, фосфина).

1.3 Биотестирование как метод оценки загрязнения почвы и снегового покрова

Вследствие увеличения влияния человека на окружающую среду, тяжести и количества последствий различных ситуаций техногенного и природного происхождения, увеличивающейся химической нагрузки возникла острая необходимость создания и разработки надежных методов контроля происходящих изменений, организации системы наблюдения за ними, оценки и контроля состояния окружающей природной среды. Данная система была названа мониторингом [24; 56; 75].

Для общей оценки состояния среды и доли участия отдельных источников применяется токсикологические, а также санитарно-гигиенические нормативы (предельно допустимые концентрации веществ, предельно-допустимые уровни воздействия). Но для прогноза результатов воздействия антропогенного фактора как на здоровье человека, так и на экосистемы также необходимо учитывать многие показатели, которые характеризуют реакцию отдельных организмов (состояние отдельных особей) и экосистем в целом на антропогенное воздействие [56].

Сегодня пристальное внимание уделяется приемам биотестирования, то есть в контролируемых условиях используют биологические объекты как средства выявления токсичности анализируемой среды. Биотестирование позволяет дать интегральную оценку экологического состояния городов, позволяет диагностировать состояние по откликам на стрессовое воздействие извне отдельных компонентов биоты. Под биотестированием обычно понимают процедуру установления токсичности среды с помощью тест-объектов, сигнализирующих об опасности независимо от того, какие вещества и в каком сочетании вызывают изменения жизненно важных функций у тест-объектов [2; 10; 68; 72; 84].

Применение некоторых подходов к проведению мониторинга токсического загрязнения среды оказывается иногда ограниченным из-за их высокой стоимости и сложности выполнения. Потому эффективным подходом для определения фитотоксичности является применение именно методов биотестирования [29]. В качестве тест-индикаторов используются различные растения и организмы [13; 22; 87]. Метод фитотестирования как метод системы экологического мониторинга является интегральным, позволяющим дать комплексную характеристику среды. Он прост в применении, дешев и получает все большее распространение в исследованиях соответствующего направления, но он еще разработан недостаточно. В частности отсутствует информация о чувствительности различных тест-организмов и их пригодности для целей фитотестирования почв городской среды [25; 83]. Почва по причине

гетерогенности среды и многоуровневости системы является сложной для оценки ее экологического состояния и нормирования вредных воздействий [5; 70]. Действующая в настоящее время система контроля загрязнения среды, основанная на сравнении содержания веществ в пробах с предельно допустимыми концентрациями и расчетом суммарного индекса загрязнения не всегда эффективна [41; 54; 55]. В связи с тем, что живые объекты интегрально реагируют на состояние почв, именно на основе биотестирования может быть проведена комплексная оценка состояния данной среды. Для целей биотестирования проб почв используют разные тест-объекты: растения (кресс-салат *Lepidium sativum*, пшеница *Triticum spp.*, *Avena spp.*), животные (ракообразные *Daphnia magna*), и микроорганизмы [4; 55; 71]. По результатам некоторых исследований показана большая чувствительность к антропогенному воздействию высших растений, чем животных и микроорганизмов [5].

Биотестирование снегового покрова также является обязательным по причине того, именно снежный покров демонстрирует влияние различных источников загрязнения атмосферного воздуха на поверхность земли. [16; 33]. Анализ качества снежного покрова позволяет проследить распространение загрязняющих веществ в пространстве по определенной территории и получить картин зон влияния промышленного предприятия и других объектов на состояние среды [73].

Несмотря на то, что в настоящее время методы биотестирования широко используются в международной практике контроля за качеством почв [4; 5; 41; 54; 55; 70; 71], в России система требований и нормативов, регламентирующих применение методов биотестирования и биоиндикации в целях сохранности почв, пока окончательно не сформирована [70]. Таким образом, по-прежнему остается актуальной проблема выявления информативных биотестов для оценки экологического состояния городских почв и снегового покрова.

2 Материал и методы исследования

2.1 Объект и предмет исследования

Объектом исследования являлся кресс-салат (*Lepidium sativum* L., 1753) как тест-растение, развитие которого происходит в экспериментальных условиях (рисунок 1).



Рисунок 1 – *Lepidium sativum* [88]

Предметом исследования было изучение реакции кресс-салата по показателям прорастания семян и развития проростков на различные условия экспонирования в средах (пробах почв и снеготалой воды отдельных участков территории города Красноярск с различной степенью антропогенной нагрузки с учетом содержания подвижных форм тяжелых металлов и уровня хемилюминесцентной активности).

Систематическое положение тест-объекта (кресс-салат):

Царство: Растения - *Plantae*

Отдел: Цветковые - *Magnoliophyta*

Класс: Двудольные - *Dicotyledones*

Порядок: Капустоцветные - *Brassicales*

Семейство: Капустные - *Brassicaceae*

Род: Клоповник - *Lepidium*

Вид: Клоповник посевной - *Lepidium sativum* L.

Кресс-салат – однолетнее травянистое скороспелое холодостойкое растение семейства Капустные, широко распространенное. Представляет собой культуру, которую можно выращивать круглый год как в открытом, так и в закрытом грунте, а также в домашних условиях.

Многие отечественные и зарубежные авторы показывали в своих работах эффективность применения семян кресс-салата как тест-объекта. Он информативен при комплексном загрязнении, а также при загрязнении исследуемых проб поллютантами разных типов (тяжелыми металлами, радиоактивными веществами, углеводородами). В Бельгии в разработанном методе фитотестирования используются три вида тест-объектов: два двудольных – в том числе кресс-салат (*Lepidium sativum*), а также горчицу белую (*Sinapis alba*) и одно однодольное – сорго сахарное (*Sorghum saccharatum*) [51]. Разными авторами установлена высокая чувствительность кресс-салата к химическим веществам разного рода [26; 49; 64]. Использование его семян для оценки качества проб воды, воздуха и почвы служит подтверждением всего этого [7; 47; 50].

Кресс-салат – универсальный регистрирующий биоиндикатор. Он обладает высокой всхожестью, заметно уменьшающейся в присутствии поллютантов, к тому же он отличается быстрым прорастанием семян (на 3-4 сутки). Его корни и побеги при воздействии поллютантов разных типов подвергаются заметным морфологическим изменениям: задержка роста, уменьшение массы и длины корней, искривление побегов [79].

Кресс-салат как тест объект имеет также несколько значимых преимуществ: сравнительно небольшая площадь рабочего места позволяет изучать действие стрессоров одновременно на довольно большом числе тест-объектов. Также немаловажным преимуществом является весьма короткий срок эксперимента: семена прорастают довольно быстро (на 3-4 день) – все это определяет получение ответа на большинство вопросов эксперимента в пределах 10 суток.

В работе использовались семена кресс-салата сорта «Забава», имеющего все характерные признаки данной культуры: высокую скорость роста и холодостойкость. На основании вышеизложенного можно указать, что данная тест-культура является простой и доступной в практике применения как тест-объекта. По энергии прорастания семян и их всхожести, а также показателям развития (длина и вес верхней и нижней части проростков) определяли степень токсичности среды.

2.2 Отбор, подготовка и анализ исследуемых сред

Сбор почвенных проб поведился в июле 2016 года в течении вегетационного периода до завершения активной фазы самоочищения. Пробы отбирались в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 в пятикратной повторности. Точечные пробы отбирали на пробных площадках из слоя 0-20 см методом конверта. Объединенную пробу составляли путем смешивания 5 точечных проб, отобранных на одной пробной площадке. Пробы почвы далее высушивали до воздушно-сухого состояния по ГОСТ 5180-84. Воздушно-сухие пробы хранили в матерчатых мешочках в матерчатых мешочках.

Образцы снежного покрова отбирались в соответствии с ГОСТ 17.1.5.05–85 «Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков». Пробы снежного покрова отбирались в период максимального снегового накопления и незадолго до периода снеготаяния (конец февраля 2017 года) на открытых местах на расстоянии не менее 500 м от источника антропогенного воздействия (для района Цементного завода). Отборы проводились на участке 5х5 м методом «конверта» на всю глубину снежного покрова. Пробы отбирались снегоотборником из полимерного материала, при этом с поверхности удалялись мусор (листья, ветки и др.), исключали попадание в образец частиц почвы. Из отобранных проб составлялась сборная проба весом не менее 2 кг, которая помещалась в

полиэтиленовый пакет и маркировалась. Пробы снежного покрова отбирались с пробами почвенного покрова в тех же точках отбора.

Пробы почвы отбирались в 4 различных пунктах города Красноярск, на оживленных перекрестках с различными по интенсивности автотранспортным и промышленным воздействием. Места отбора образцов почвы и снежного покрова также выбирались с учетом различных функциональных зон города. Были взяты образцы из следующих зон: рекреационная зона, селитебная и промышленная. Характеристика точек отбора проб представлена в таблице 1, расположение мест отбора проб приведено на рисунке 2.

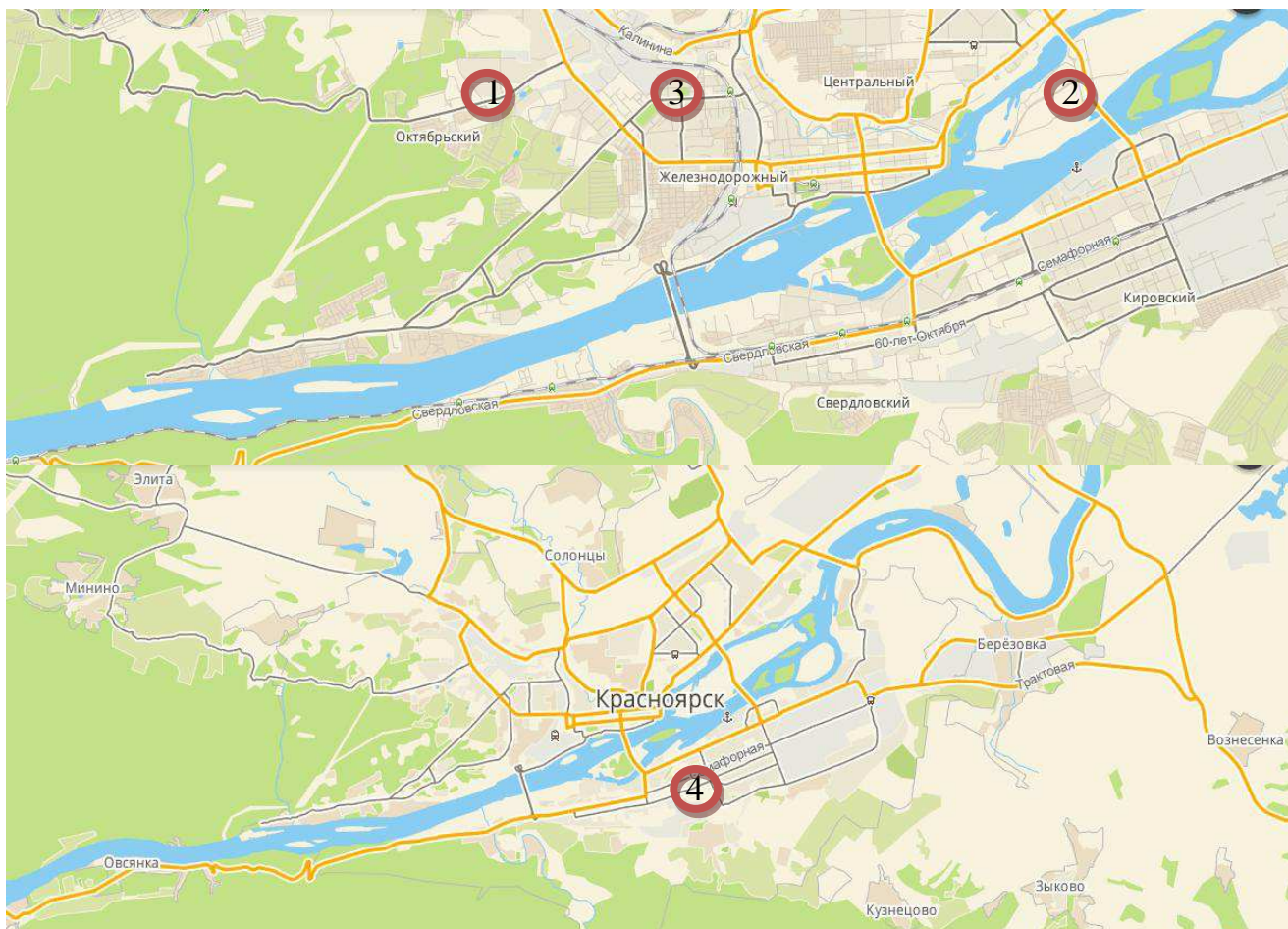


Рисунок 2 – Расположение мест отбора проб почв и снегового покрова [91]

Таблица 1 – Характеристика местоположения точек отбора проб почв и снегового покрова

Участок	Расположение участков
Рекреационная зона	
о. Татышеев - 1	Расположен в Центральном р-не левобережной части г. Красноярска, характеризуется очень высокой пешеходной нагрузкой.
парк им. Гагарина - 2	Расположен в Железнодорожном р-не левобережной части г. Красноярска на Свободном проспекте.
Селитебная зона	
мкр. Ветлужанка - 3	Расположен в западной части Октябрьского р-на г. Красноярска. Относительно экологически благополучный район. Характеризуется отсутствием крупных предприятий, средней автотранспортной нагрузкой.
Промышленная зона	
р-он ООО «Красноярский цемент» - 4	Расположен в Свердловском р-не правобережной части г. Красноярска.

В общей сложности для анализа собраны 4 пробы снеготалой воды и 4 пробы почвенного покрова.

Содержания валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвах исследуемых пунктов определялось в научно-исследовательском испытательном центре ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет» в соответствии с «Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства» (1992) и «Методические указания по определению тяжелых металлов в кормах и растениях и их подвижных соединений в почвах» (1993) с помощью атомно-абсорбционного метода на анализаторе PinAAcle 900T.

Приготовление водной вытяжки из образцов почв проводилось в соответствии с ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.12-06 Т 16.1:2:2:3:3.9-06 «Токсикологические методы контроля. Методика измерений количества *Daphnia magna* Straus для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления методом прямого счета» (издание 2014 г.). Соотношение воздушно-сухой массы почвенного образца с учетом влажности и воды составляла 1:4. Данную смесь перемешивали на магнитной

мешалке в течении двух часов. Показатель рН водной вытяжки из образцов почв и снеготалой воды определялись на приборе рН-метр портативный Multi 340i / SET.

Хемилюминесцентный анализ проводили на приборе «CHEMILUMINESCENT ANALYZER CL 3604» СКТБ «НАУКА» (Международный центр исследований экстремальных состояний человека ФИЦ КНЦ СО РАН) совместно с к.б.н., старшим научным сотрудником Г.В. Макарской, вед. инженером С.В. Тарских. Пробы снеготалой воды и водной вытяжки из образцов почв дополнительно центрифугировали при 4500 об/мин в течение 10 минут на мини центрифуге Microspin 12 BioSan. Готовилось 2 пробы реакционной смеси, содержащих по 200 мкл 2×10^{-4} М раствора люминола в дистиллированной воде (показатель рН доводился до 7,4), 200 мкл исследуемого образца и 200 мкл дистиллированной воды H_2O . В одну кювету со смесью через 10 минут вносили 200 мкл дистиллированной воды H_2O , в другую – 200 мкл 3% раствора H_2O_2 .

В другом варианте 2 пробы реакционной смеси, содержащих по 200 мкл 5×10^{-4} М раствора люцигенина в дистиллированной воде (показатель рН доводился до 7,4), 200 мкл исследуемого образца и 200 мкл дистиллированной воды H_2O . В одну кювету со смесью через 10 минут вносили 200 мкл дистиллированной воды H_2O , в другую – 200 мкл 3% раствора H_2O_2 .

Регистрировалась максимальная быстрая вспышка (I_{max}). Расчет светосуммы хемилюминесценции проводили без учета фонового свечения и выражали в относительных единицах (количество импульсов в секунду). Эталонном является изотоп углерода-14 в толуоле. Длительность записи хемилюминесцентной кинетики составляла 60 минут. При оценке кинетики процесса использовались такие показатели как максимальная быстрая вспышка (I_{max} , имп/с), время достижения максимума (T_{max} , мин), суммарное количество квантов за время наблюдения (светосумма) (S , млн имп).

2.3 Экспериментальные работы

Экспериментальная часть настоящего исследования проведена в 2017 г. в лаборатории кафедры экологии и природопользования института экологии и географии ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» и в Международном центре исследований экстремальных состояний человека ФИЦ КНЦ СО РАН.

В экспериментальном исследовании анализировалась реакция кресс-салата на условия экспонирования, которые отличались различной степенью наличия подвижных форм тяжелых металлов, интенсивности хемилюминесцентной активности. Семена проращивали в снеготалой воде и образцах почвенного покрова увлажненных отстоянной водопроводной водой в течение 14 суток в лабораторных условиях при комнатной температуре и естественном режиме освещения.

Для проращивания семян использовали влажные камеры (пластиковые контейнеры объемом 200 мл) с применением целлюлозного фильтра для закрепления тест-объекта. На каждый вариант использовали по 30 семян в трехкратной повторности. Для обеспечения влажности в вариантах со снеготалой водой добавлялся образец снеготалой воды собранной в соответствующей точке сбора. Для обеспечения влажности в пластиковые контейнеры с почвой добавлялась отстояная водопроводная вода. Всхожесть и энергия прорастания семян тест-растений определялась по общепринятым методикам (ГОСТ 12039-82 и ГОСТ 12038-84). Взвешивание и измерение длины подземной и надземной части тест-растений проводили у 7 и 14 суточных проростков кресс-салата. Измерения длины вышеуказанных частей тест-растений проводили с помощью линейки, с точностью до 1 мм, взвешивание исследуемых органов тест-растений проводилось на аналитических весах 2-го класса точности «ВЛР-200».

Полученные экспериментальные данные обрабатывались статистически с использованием пакета анализа Microsoft Office Excel 2007. Описание количественных признаков производилось с использованием средних арифметических и стандартных ошибок среднего ($A \pm a$, A – среднее арифметическое, a – ошибка среднего). Сравнительная оценка рядов данных в контрольном и опытных вариантах проводилась по критерию Стьюдента.

Изучение района исследования как фактора, влияющего на тест-объект (кресс-салат), проводили в процессе экспериментальных работ в лабораторных условиях с оцениваем различных показателей (общая длина и вес проростков, длина и вес верхней и нижней части растения, энергия прорастания и всхожесть). Период проращивания семян составил 14 суток. Этапы работы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Этапы экспериментального исследования при проращивании кресс-салата

Этапы	Период
Замачивание семян кресс-салата	1 сутки
Определение энергии прорастания	3 сутки
Определение всхожести	5 сутки
Определение веса и общей длины проростка, веса и длины верхней и нижней части	7 сутки
Определение веса и общей длины проростка, веса и длины верхней и нижней части	14 сутки

В эксперименте закладывались следующие варианты:

1. контроль с отстоянной водопроводной водой для влажной камеры при проращивании семян;
2. почва мкр. Ветлужанка для влажной камеры при проращивании семян;
3. почва о. Татышев для влажной камеры при проращивании семян;
4. почва парка им. Гагарина для влажной камеры при проращивании семян;
5. почва р-на Цементного завода для влажной камеры при проращивании семян;

6. снеготалая вода мкр. Ветлужанка для влажной камеры при проращивании семян;

7. снеготалая вода о. Татышев для влажной камеры при проращивании семян;

8. снеготалая вода парка им. Гагарина для влажной камеры при проращивании семян;

9. снеготалая вода р-на Цементного завода для влажной камеры при проращивании семян.

Всего экспонировалось 27 емкостей (9 вариантов условий по 3 повторности).

3 Результаты следования и их обсуждение

3.1 Анализ почвенного покрова и снеготалой воды

Экспонирование тест-объекта проводили с учетом дифференциации исследуемых сред по следующим показателям: в почвенных образцах учитывали коэффициент опасности, в образцах снеготалой воды и водной вытяжки из образцов почв – уровень хемилюминесцентной активности и значение рН. Результаты определения показателя рН водной вытяжки из образцов почв и снеготалой воды приведены в таблице 3. Значения рН снеготалой воды относятся к слабощелочным, близкой к нейтральной среде по значению рН водной вытяжки из образцов почв обладает образец мкр. Ветлужанка, остальные образцы характеризуются слабокислой средой, но оптимальной для растений. Для растений сдвиг значения рН в сторону щелочной среды менее заметен в связи с тем, что клетки корня выделяют CO_2 , что в определенной степени нейтрализует избыточную щелочность.

Таблица 3 – Показатели рН водной вытяжки из образцов почв и снеготалой воды отдельных участков территории г. Красноярск

Место отбора проб	рН водной вытяжки из почвы	Высота снежного покрова, см.	рН снеготалой воды
мкр. Ветлужанка	5,82	47	7,75
о. Татышев	6,25	17,5	7,72
парк им. Гагарина	5,56	5	7,75
р-он ООО «Красноярский цемент»	5,64	14	7,91

Техногенные выбросы, загрязняющие почву через атмосферу, сосредотачиваются в в поверхностных слоях [59]. Показателем загрязнения почв тяжелыми металлами является уровень подвижных форм, поэтому в анализируемых пробах проб почв было определено содержание подвижных

форм металлов I класса опасности (свинец, кадмий, цинк) II класса опасности (медь, никель, кобальт, хром), также было определено валовое содержание (приложение А). Для определения экологически опасных уровней концентрации тяжелых металлов в отобранных пробах почв провели сравнение между фактической концентрацией подвижных форм каждого тяжелого металла и его предельно допустимой концентрацией [60]. Коэффициент опасности K_0 рассчитывался по формуле 1.

$$K_0 = C_i / \text{ПДК}, \quad (1)$$

где C_i – содержание тяжелого металла в подвижной форме в образце, мкг/кг;
 ПДК – предельно допустимая концентрация тяжелого металла, мг/кг.

Коэффициент опасности по кадмию превышает единицу только в образце почвы р-на ООО «Красноярский цемент» (рисунок 3). Содержание цинка и свинца превышает ПДК во всех образцах почв, кроме образца мкр. Ветлужанка. В почве р-на ООО «Красноярский Цемент» по металлам I класса опасности зафиксировано превышение ПДК. Это может быть объяснено близкой их расположенностью к автодорогам (для о. Татышев – близостью к Октябрьскому мосту). Таким образом, наиболее загрязненным элементами токсикантами I класса опасности является район Цементного завода.

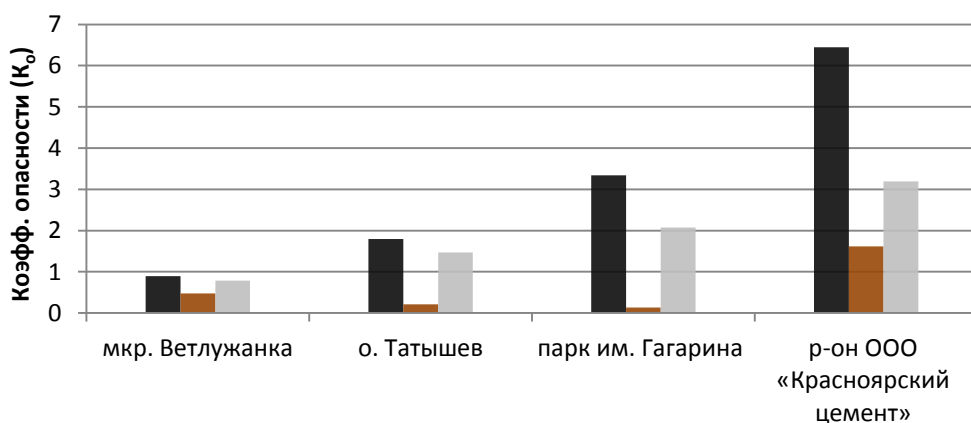


Рисунок 3 – Коэффициент опасности подвижных форм тяжелых металлов

I класса опасности

Для металлов II класса опасности также зафиксировано превышение ПДК в пробе почвы р-на ООО «Красноярский цемент» (рисунок 4). Для образцов почв мкр. Ветлужанка, о. Татышев, парка им. Гагарина для хрома коэффициенты опасности не превышали единицу. Для кобальта превышение ПДК отмечено в пробе почвы парка им. Гагарина. Содержание никеля и меди превышает ПДК во все трех образцах – мкр. Ветлужанка, о. Татышев, парка им. Гагарина.

По содержанию подвижных форм тяжелых металлов I и II класса опасности образцы почв парка им. Гагарина и р-на ООО «Красноярский цемент» являются самыми загрязненными. Превышение ПДК зафиксировано по всем 7 металлам в почве р-на ООО «Красноярский цемент», по 5 для пробы парка им. Гагарина, по 4 – о. Татышев, по 2 для пробы почвы мкр. Ветлужанка.

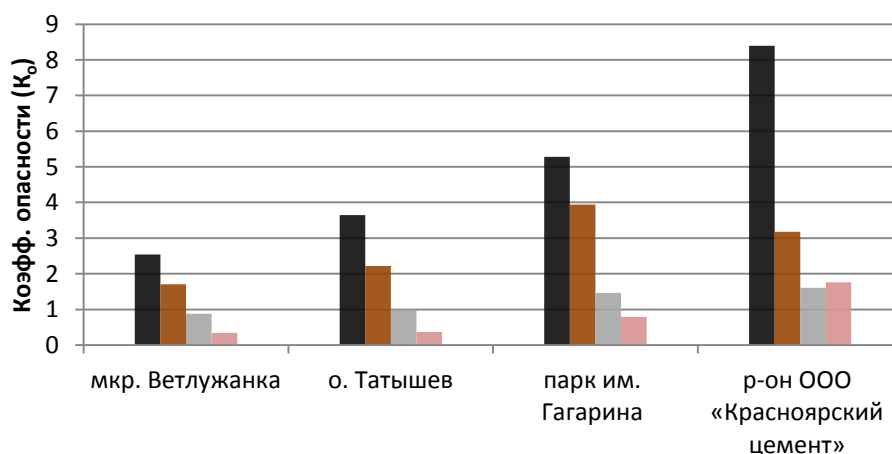


Рисунок 4 – Коэффициент опасности подвижных форм тяжелых металлов II класса опасности

Изучение состояния свободно-радикального баланса различных районов исследования на интенсивность индуцированной хемилюминесценции анализировались на примере люминолзависимой и люцигенинзависимой хемилюминесцентной активностях. В ходе исследования определялись

следующие характеристики: максимальная быстрая вспышка (I_{\max} , имп/с), время достижения максимума (T_{\max} , мин), суммарное количество квантов за время наблюдения (светосумма) (S , млн имп).

Анализ результатов по времени максимальной вспышки показал следующие результаты, представленные на рисунке 5. Время реакции короче в вариантах водной вытяжки из образцов почв и снеготалой воды с люцигенином. В варианте с Люминолом время от начала реакции до достижения максимальной интенсивности проходит больше, то есть реакция с люцигенином протекает быстрее. Максимальные значения для проб снеготалой воды и водной вытяжки из образцов почв с люминолом в образце парка им. Гагарина, минимальное совпадающее значение – о. Татышев. Максимальные значения для проб снеготалой воды и водной вытяжки из образцов почв с люцигенином в образце р-на Цементного завода, минимальные совпадающие значения – контроль, Ветлужанка, парк им. Гагарина.

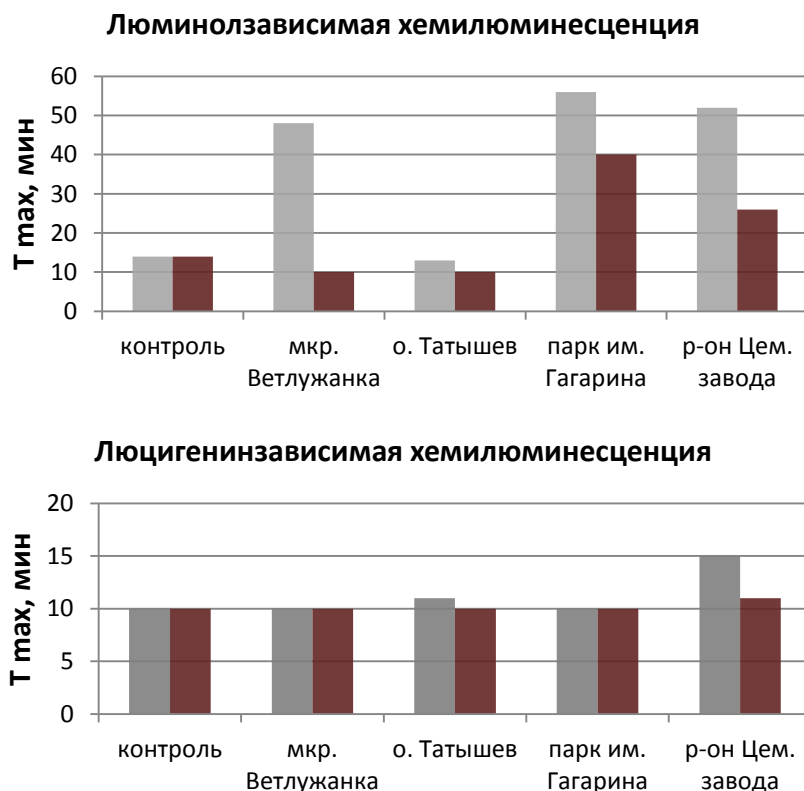


Рисунок 5 – Время выхода на максимум при люминолзависимой и люцигенинзависимой хемилюминесцентной активности

в образцах водной вытяжки из образцов почв и снеготалой воды

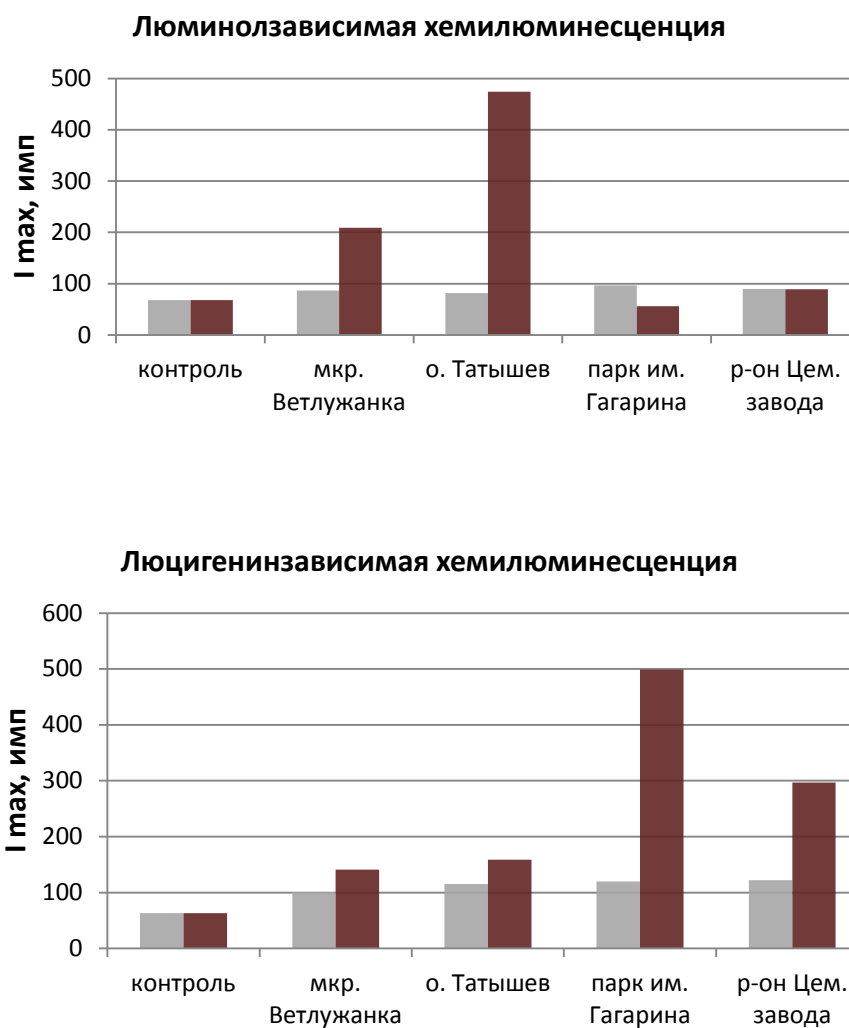


Рисунок 6 – Максимальное значение интенсивности люминолзависимой и люцигенинзависимой хемилюминесцентной активности в образцах водной вытяжки из образцов почв и снеготалой воды

Тенденция возрастания максимального значения интенсивности люцигенинзависимой хемилюминесцентной активности образцов снеготалой воды наблюдается в ряду контроль – мкр. Ветлужанка – о. Татышев – парк им. Гагарина – р-он Цементного завода (рисунок 6). Также она наблюдается и в значениях интенсивности люминолзависимой хемилюминесцентной активности за исключением образца снеготалой воды парка им. Гагарина. По люцигенинзависимой хемилюминесцентной активности водной вытяжки из

образцов почв эта тенденция сохраняется, за исключением образца р-на Цементного завода (таблица 4).

Таблица 4 – Показатели люминолзависимой и люцигенинзависимой хемилюминесцентной активности

На основании анализа хемилюминесцентной активности были выявлены следующие показатели суммарной площади (рисунок 7).

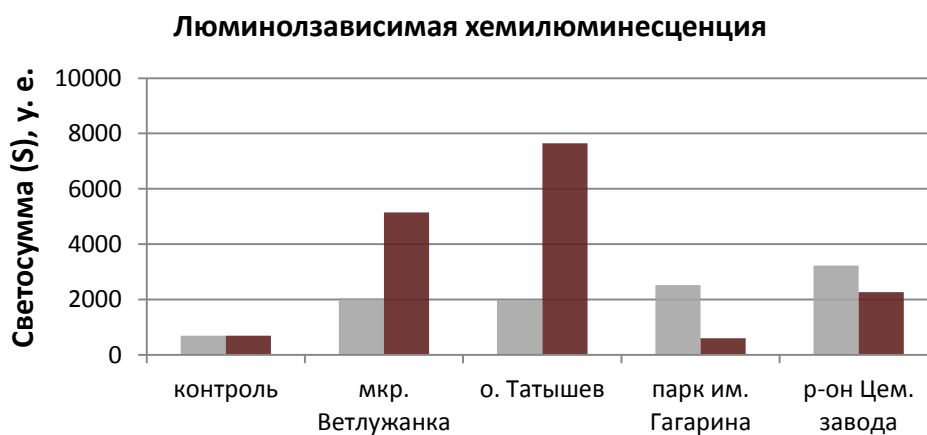


Рисунок 7 – Суммарная площадь (светосумма) люминолзависимой и люцигенинзависимой хемилюминесцентной активности в образцах водной вытяжки из образцов почв и снеготалой воды, лист 1

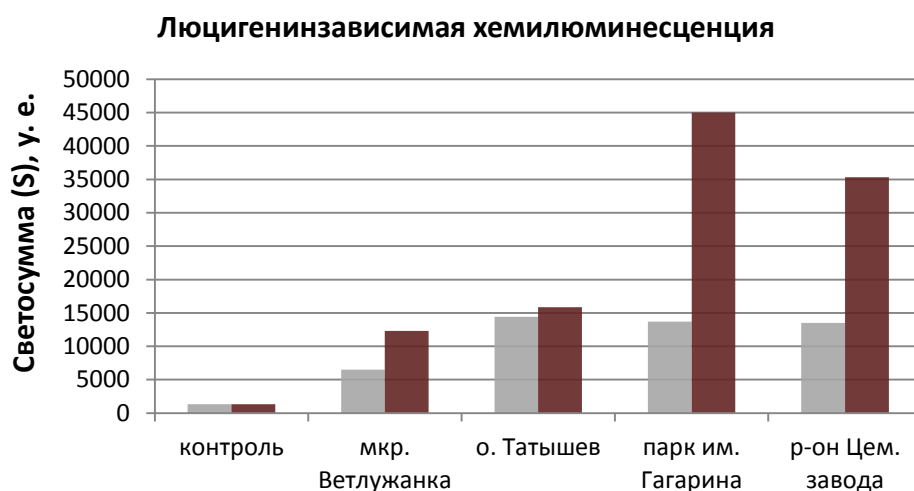


Рисунок 7, лист 2

По показателю суммарной площади все значения выше относительно контроля, кроме пробы водной вытяжки из образцов почв парка им. Гагарина люминолзависимой хемилюминесценции. Уровень люминолзависимой и люцигенинзависимой хемилюминесцентной активности по показателям светосуммы и максимального значения интенсивности в целом выше в образцах водной вытяжки из образцов почв, чем снеготалой воды. Это может быть объяснено сложным комплексом факторов почвенной среды городских территорий возникающего вследствие видоизменения почвенного покрова химическими загрязнениями, источниками которых являются промышленные предприятия, автотранспорт и топливно-энергетический комплекс.

3.2 Развитие семян и проростков кресс-салата

3.2.1 Энергия прорастания и всхожесть семян

Результаты проращивания семян тест-объекта в лабораторных условиях в почвенном субстрате и снеготалой воды различных районов исследования для

определения энергии прорастания и всхожести семян кресс-салата приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Энергия прорастания (%) и всхожесть (%) семян кресс-салата в условиях эксперимента в снеготалой воде и почве

Исследуемые районы	Энергия прорастания кресс-салат (сн.вода)	Всхожесть кресс-салат (сн.вода)	Энергия прорастания кресс-салат (почва)	Всхожесть кресс-салат (почва)
мкр. Ветлужанка	92,22±0,33	95,56±0,38	90,00±0,33	95,56±0,38
о. Татышев	85,56±0,58	90,00±0,58	87,78±0,19	95,56±0,19
парк им. Гагарина	90,00±0,51	94,44±0,19	86,67±1,45	93,33±0,33
р-он Цем. завода	86,67±0,19	91,11±0,69	91,11±0,19	91,11±0,19
Контроль	93,33±0,33	94,44±0,51	93,33±0,33	94,44±0,51

Энергия прорастания семян тест-объекта в контрольном варианте составила 93% – максимальное значение в сравнении со всеми районами исследования. В целом тенденция изменения показателя энергии прорастания по районам исследования в почве и снеготалой воде сохраняется за исключением проростков, выращенных в пробе снеготалой воды района Цементного завода. Энергия прорастания кресс-салата в снеготалой воде, собранной на о. Татышев, в районе Цементного завода ниже, чем в почве, а в снеготалой воде с мкр. Ветлужанка и парка им. Гагарина – выше (рисунок 8).

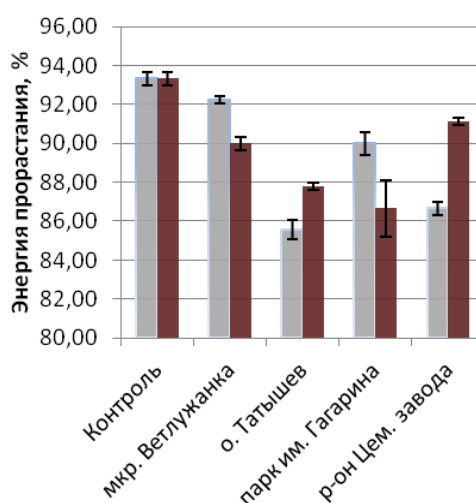


Рисунок 8 – Энергия прорастания (%) семян кресс-салата в почве и снеготалой воде

Всхожесть семян кресс-салата в контроле составила 94%. Самым высоким показателем всхожести тест-объекта, пророщенного как в снеготалой воде, так и в почве, обладали пробы, отобранные в мкр. Ветлужанка – 95%. В целом тенденция изменения показателя всхожести по районам исследования в почве и снеготалой воде сохраняется за исключением проростков, выращенных в пробе снеготалой воды о. Татышев (рисунок 9). Видимые отличия по показателям всхожести между образцами снеготалой воды и почвы обнаружили пробы о. Татышев и парка им. Гагарина.

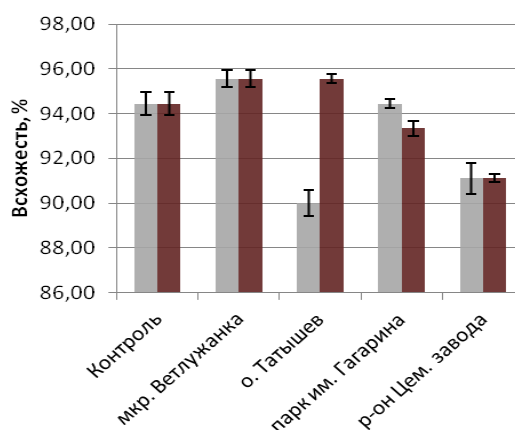


Рисунок 9 – Всхожесть (%) семян кресс-салата в почве и снеготалой воде

Для уточнения сравнительных оценок результатов энергии прорастания и всхожести в контрольном и вариантах разных районов исследования использовали критерий Стьюдента (таблица 6, 7).

Таблица 6 – Сравнительная оценка энергии прорастания семян кресс-салата в образцах почвенного покрова и снеготалой воды исследуемых районов г. Красноярска с контрольным вариантом по критерию Стьюдента

Исследуемые районы	Энергия прорастания кресс-салат (сн.вода)	Энергия прорастания кресс-салат (почва)
мкр. Ветлужанка	0,55	1,22
о. Татышев	1,59	2,73
парк им. Гагарина	0,54	0,18
р-он Цем. завода	2,45	1,09

Таблица 7 – Сравнительная оценка энергии прорастания семян кресс-салата в образцах почвенного покрова и снеготалой воды исследуемых районов г. Красноярска с контрольным вариантом по критерию Стьюдента

Исследуемые районы	Всхожесть кресс-салат (сн. вода)	Всхожесть кресс-салат (почва)
мкр. Ветлужанка	0,21	0,215
о. Татышев	0,60	0,24
парк им. Гагарина	0,00	0,23
р-он Цем. завода	0,35	0,73

Таким образом, анализ экспериментальных данных показал, что между вариантами контроль и другими точками отбора проб почвы и снеготалой воды (мкр. Ветлужанка, о. Татышев, парком им. Гагарина и р-ом Цементного завода) не обнаружено статистически значимых различий по показателям энергии прорастания и всхожести семян кресс-салата.

При проведении однофакторного дисперсионного анализа между изучаемыми районами города не обнаружены статистически значимые ($p < 0,05$) различия по среднему значению энергии прорастания и всхожести семян кресс-салата. Вышеизложенное указывает на отсутствие эффекта угнетения подавления энергии прорастания и всхожести семян тест-растений в зависимости от района исследования. Высокие значения рассматриваемых выше показателей семян кресс-салата в контрольном и опытных вариантах не позволяют рассматривать эффект угнетения в зависимости от района исследования. Данные характеристики не следует рассматривать как достоверные показатели кресс-салата для оценки загрязнения почвы и снеготалой воды.

3.2.2 Линейные и весовые характеристики проростков

Показатели дальнейшего развития проростков определяются не только потенциалом семенного материала, но его дальнейшей реализацией в конкретных условиях среды. Оценить приемлемость среды представляется

возможным через размерные характеристики организма, такие как линейный размер и массу отдельных особей.

Результаты измерения по показателям линейных размеров у 7 суточных проростков приведены в таблице 8. В контрольном варианте общая длина проростка заметно ниже в сравнении с проростками, проращиваемыми в снеготалой воде и почве на пробах районов исследования, кроме образца снеготалой воды парка имение Гагарина.

Таблица 8 – Линейные размеры проростков кресс-салата на 7 сутки эксперимента в почвенном субстрате и снеготалой воде районов исследования

Исследуемые районы	Общая длина		Корневая система		Надземная часть	
	Средняя длина, см (почва)	Средняя длина, см (сн.вода)	Средняя длина, см (почва)	Средняя длина, см (сн.вода)	Средняя длина, см (почва)	Средняя длина, см (сн.вода)
мкр. Ветлужанка	8,73±0,73	8,37±1,09	5,29±0,51	4,31±0,80	3,43±0,27	3,00±0,35
о. Татышев	10,26±0,58	7,71±1,04	6,11±0,44	5,37±0,75	4,15±0,29	2,59±0,32
парк им. Гагарина	10,38±1,05	6,69±1,34	6,20±0,70	5,12±0,76	4,18±0,38	2,83±0,46
р-он Цем. завода	9,67±0,77	8,29±1,27	5,64±0,46	4,31±0,97	4,03±0,35	3,24±0,48
Контроль	7,51±0,86	7,51±0,86	4,31±0,55	4,61±0,55	3,19±0,37	3,19±0,37

Максимальная средняя общая длина проростка, выращенного в образце почвы парка имени Гагарина, в образце снеготалой воды – мкр. Ветлужанка. Минимальные значения составляет контроль, кроме образца снеготалой воды парка имение Гагарина (рисунок 10).

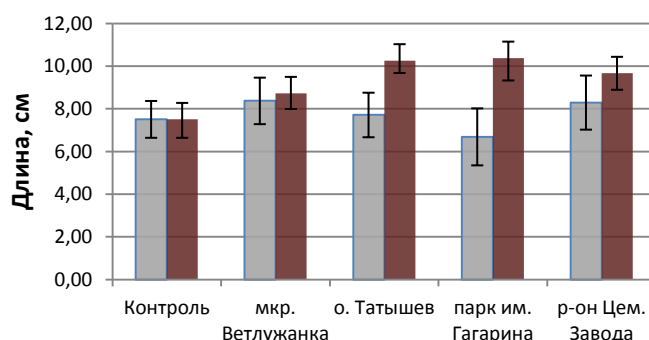


Рисунок 10 – Общая длина проростков кресс-салата в почве и снеготалой воде на 7 сутки эксперимента

Анализ длины верхней части проростка показал, что в среднем этот показатель выше у семян кресс-салата, проращиваемого в почве, чем в снеготалой воде (рисунок 11). Максимумами значений обладают проростки, выращенные в почвенных образцах о. Татышев и парка имени Гагарина, в снеготалой воде в контроле. Минимумы длины верхней части в почвенных образцах зафиксированы в контроле, в снеготалой воде в образцах о. Татышев и парка имени Гагарина.

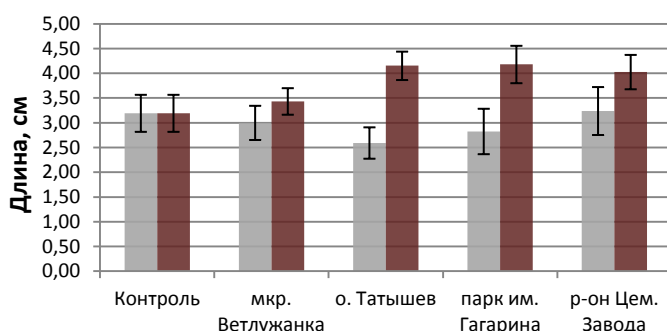


Рисунок 11 – Длина надземной части проростков кресс-салата в почве и снеготалой воде на 7 сутки эксперимента

По показателя длины корневой системы 7 суточных проростков сохраняется тенденция большего роста в почвенных образцах, чем в образцах снежного покрова (рисунок 12). Максимумы проростков в почве также отмечены в почве о. Татышев и парка имени Гагарина.

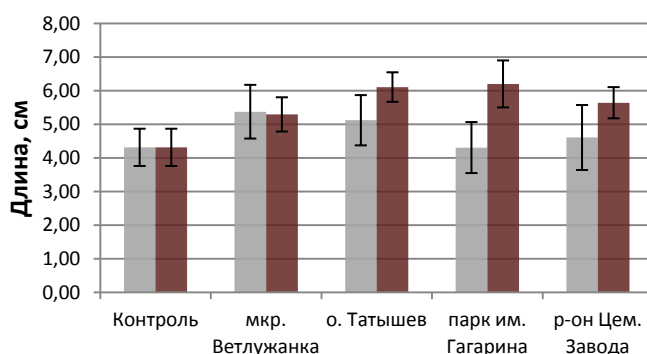


Рисунок 12 – Длина корневой системы проростков кресс-салата в почве и снеготалой воде на 7 сутки эксперимента

Максимум по образцам снега представлен пробой мкр. Ветлужанка. Минимум проростков в почве зафиксированы в контроле, в снежном покрове – в пробе парка имени Гагарина.

Результаты измерения по показателям линейных размеров у 14 суточных проростков приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Линейные размеры проростков кресс-салата на 14 сутки эксперимента в почвенном субстрате и снеготалой воде районов исследования

Исследуемые районы	Общая длина		Корневая часть		Надземная часть	
	Средняя длина, см (почва)	Средняя длина, см (сн.вода)	Средняя длина, см (почва)	Средняя длина, см (сн.вода)	Средняя длина, см (почва)	Средняя длина, см (сн.вода)
мкр. Ветлужанка	9,79±0,73	11,76±0,75	5,67±0,57	7,28±0,63	4,13±0,20	4,48±0,19
о. Татышев	10,16±0,96	13,17±0,81	5,65±0,71	9,19±0,69	4,51±0,32	3,98±0,25
парк им. Гагарина	12,01±0,95	10,64±1,02	6,87±0,59	6,95±0,86	5,15±0,41	3,69±0,28
р-он Цем. завода	11,66±0,38	9,59±1,36	6,47±0,28	5,63±1,01	5,19±0,16	3,96±0,45
Контроль	11,59±0,69	11,59±0,69	7,99±0,69	7,99±0,69	3,60±0,22	3,60±0,22

Максимальное значение средней длины проростков зафиксировано в почвенном образце парка имени Гагарина, в образце снеготалой воды – о. Татышев (рисунок 13). Относительно контроля по образцам почвы большая длина отмечена в пробе парка имени Гагарина, минимальная – мкр. Велужанка. По анализу роста в снеготалой воде также по отношению к контролю максимальное среднее значение общей длины в пробе о. Татышев, минимальное – в районе Цементного.

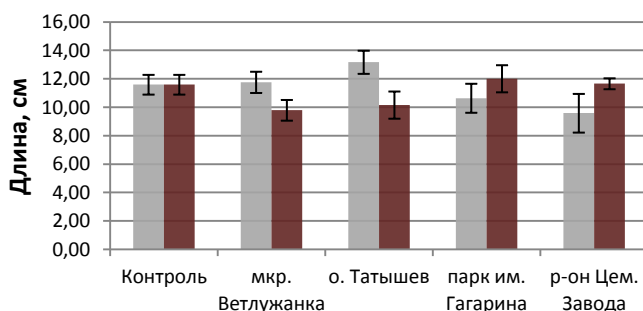


Рисунок 13 – Общая длина проростков кресс-салата в почве и снеготалой воде на 14 сутки эксперимента

В среднем тенденция лучшего роста семян, помещенных в почвенный субстрат по измерению длины надземной части также сохраняется (рисунок 14).

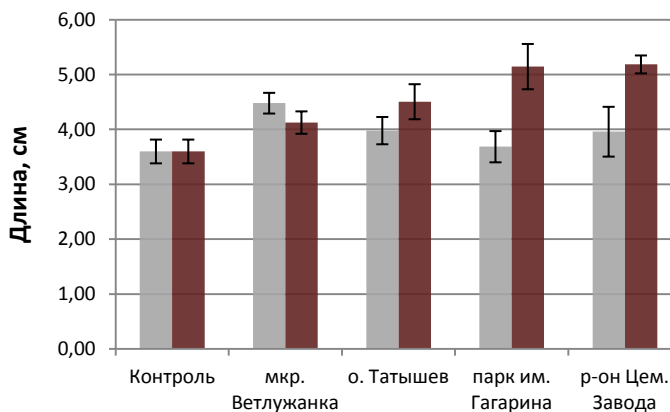


Рисунок 14 – Длина надземной части проростков кресс-салата в почве и снеготалой воде на 14 сутки эксперимента

Анализируя измерения средней длины нижней части установлено, что по отношению к контролю у всех образцов почвы он ниже, по образцам снежного покрова – ниже контроля везде, кроме пробы о. Татышев (рисунок 15).

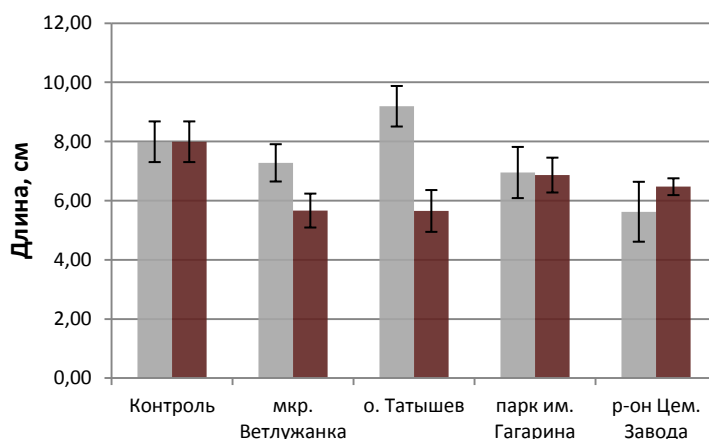


Рисунок 15 – Длина корневой системы проростков кресс-салата в почве и снеготалой воде на 14 сутки эксперимента

Результаты измерения массы у 7 суточных проростков приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Массы проростков кресс-салата на 7 сутки эксперимента в почвенном субстрате и снеготалой воде районов исследования

Исследуемые районы	Общая масса		Корневая часть		Надземная часть	
	Средняя общая масса, гр (почва)	Средняя общая масса, гр (сн.вода)	Средняя общая масса, гр (почва)	Средняя общая масса, гр (сн.вода)	Средняя общая масса, гр (почва)	Средняя общая масса, гр (сн.вода)
мкр. Ветлужанка	0,1281± 0,007188	0,1442± 0,00993	0,0398± 0,000584	0,0404± 0,004303	0,0882± 0,007239	0,1037± 0,005696
о. Татышев	0,1427± 0,000865	0,1208± 0,006042	0,0386± 0,004481	0,0353± 0,001222	0,1041± 0,004741	0,0855± 0,00503
парк им. Гагарина	0,1594± 0,004072	0,1186± 0,006042	0,0502± 0,004717	0,0271± 0,002836	0,1092± 0,002883	0,0915± 0,003444
р-он Цем. завода	0,1296± 0,007263	0,1100± 0,011976	0,0348± 0,002769	0,0222± 0,003931	0,0949± 0,00473	0,0878± 0,008368
Контроль	0,1417± 0,012701	0,1417± 0,012701	0,0369± 0,002836	0,0369± 0,002836	0,1048± 0,010019	0,1048± 0,010019

В целом, средняя общая масса 7 дневных проростков, помещенных в почву разных районов, выше, чем в снеготалой воде того же района, кроме образца мкр. Ветлужанка, там наблюдается противоположная ситуация (рисунок 16). Максимальное значение средней массы отмечено в почвенном образце парка имени Гагарина, по снеготалой воде – мкр. Ветлужанка.

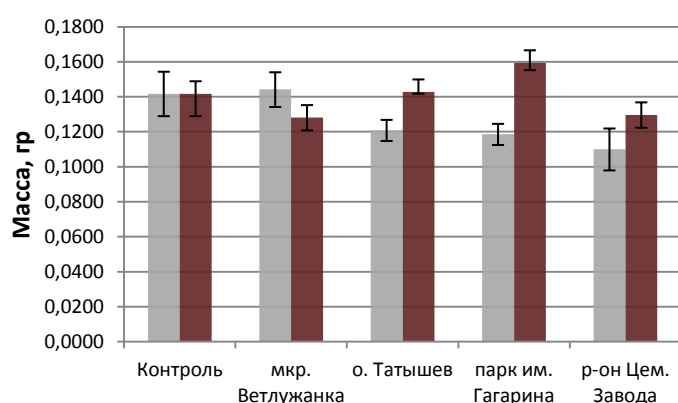


Рисунок 16 – Общая масса проростков кресс-салата в почве и снеготалой воде на 7 сутки эксперимента

Ситуация с преобладанием средней массы верхней и нижней части 7 дневных проростков, помещенных для проращивания в почву, по сравнению с

образцами снеготалой воды сохраняется как и в случае со средней общей массой проростков (рисунок 17, рисунок 18). В мкр. Ветлужанка наблюдаем ту же ситуацию с обратным эффектом.

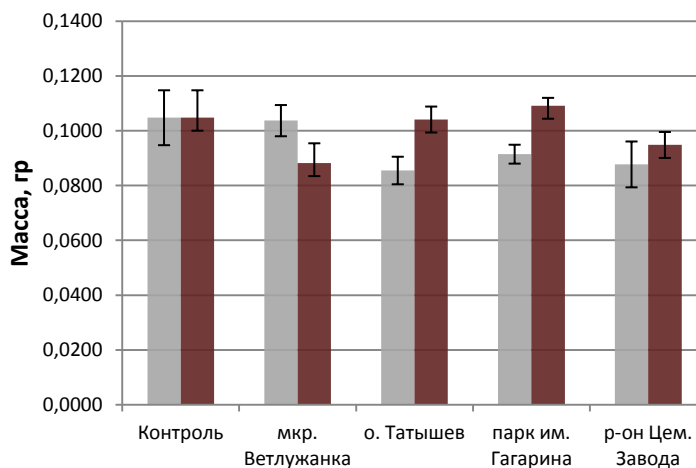


Рисунок 17 – Масса надземной части проростков кресс-салата в почве и снеготалой воде на 7 сутки эксперимента

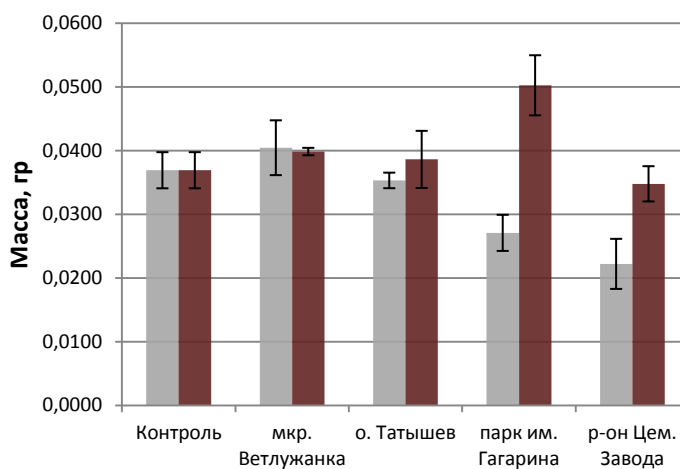


Рисунок 18 – Масса корневой части проростков кресс-салата в почве и снеготалой воде на 7 сутки эксперимента

Результаты измерения массы у 14 суточных проростков приведены в таблице 11. Максимальное значение средней общей массы проростков зафиксировано в почвенном образце парка имени Гагарина, в образце снеготалой воды – мкр. Ветлужанка (рисунок 19).

Таблица 11 – Массы проростков кресс-салата на 14 сутки эксперимента в почвенном субстрате и снеготалой воде районов исследования

Исследуемые районы	Общая масса		Корневая часть		Надземная часть	
	Средняя общая масса, гр (почва)	Средняя общая масса, гр (сн.вода)	Средняя общая масса, гр (почва)	Средняя общая масса, гр (сн.вода)	Средняя общая масса, гр (почва)	Средняя общая масса, гр (сн.вода)
мкр. Ветлужанка	0,1458± 0,006379	0,166333± 0,004326	0,029133± 0,00202	0,054367± 0,002226	0,116667± 0,004666	0,111967± 0,003624
о. Татышев	0,140133± 0,011568	0,153633± 0,005772	0,023067± 0,003233	0,0443± 0,00168	0,117067± 0,011314	0,109333± 0,005119
парк им. Гагарина	0,168± 0,016851	0,153833± 0,00885	0,025867± 0,002636	0,049267± 0,005783	0,142133± 0,014243	0,104567± 0,004218
р-он Цем. завода	0,157433± 0,00924	0,1396± 0,009638	0,026233± 0,002895	0,039567± 0,005234	0,1312± 0,008479	0,100033± 0,004967
Контроль	0,149633± 0,004864	0,149633± 0,004864	0,047967± 0,001562	0,047967± 0,001562	0,101667± 0,003303	0,101667± 0,003303

Такая же картина наблюдалась и по показателям общей длины 14 суточных проростков:

1. относительно контроля по образцам почвы большая масса отмечена в пробе парка имени Гагарина, минимальная – мкр. Ветлужанка;

2. по анализу роста в снеготалой воде также по отношению к контролю максимальное среднее значение общей длины в пробе о. Татышев, минимальное – в районе Цементного завода.

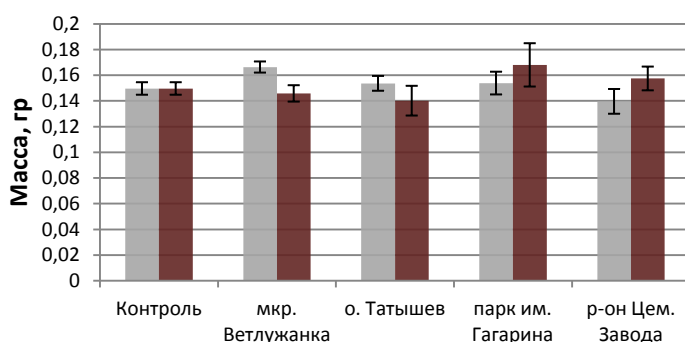


Рисунок 19 – Общая масса проростков кресс-салата в почве и снеготалой воде на 14 сутки эксперимента

Тенденция большего развития семян, помещенных в почвенный субстрат по измерению массы верхней части сохраняется (рисунок 20).

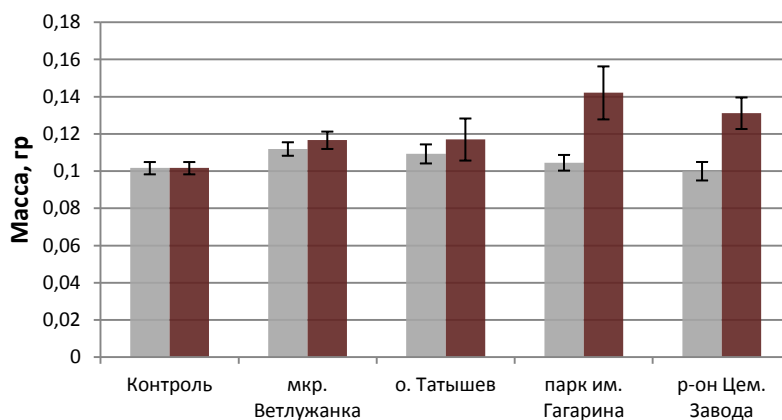


Рисунок 20 – Масса надземной части проростков кресс-салата в почве и снеготалой воде на 14 сутки эксперимента

Анализируя измерения средней массы нижней части установлено, что по отношению к контролю у всех образцов почвы он ниже, по образцам снежного покрова – ниже контроля только для проб о. Татышев и парка имени Гагарина (рисунок 21).

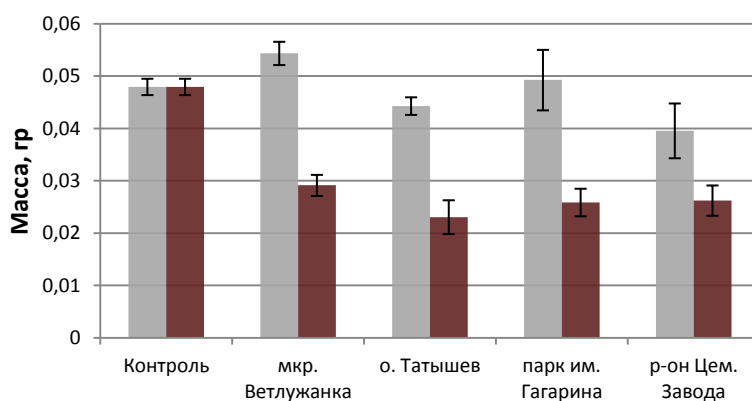


Рисунок 21 – Масса корневой части проростков кресс-салата в почве и снеготалой воде на 14 сутки эксперимента

3.2.3 Сравнительный статистический анализ показателей

По результатам двухфакторного дисперсионного анализа показателей общей длины, длины надземной части, корневой системы проростков кресс-салата на 7 сутки эксперимента можно сделать следующие выводы:

1. Общая длина проростка ($p < 0,05$) зависит от среды проращивания семян (снеготалая вода, почва). Показатель силы влияния данного фактора составляет 6,25% (таблица 12). Максимальная длина отмечена для проростков кресс-салата на 7 сутки эксперимента в почве, минимальная – в снеготалой воде.

2. Длина надземной части ($p < 0,001$) зависит от среды проращивания семян (снеготалая вода, почва). Показатель силы влияния данного фактора составляет 11,94% (таблица 13). Максимальная и минимальная длины отмечены как и ранее в почве и снеготалой воде соответственно.

Таблица 12 – Дисперсионный анализ влияния факторов "Среда опыта (сн.вода, почва)" и "Район" на общую длину проростков кресс-салата на 7 сутки эксперимента

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Среда опыта (сн.вода, почва)	119,0021	1	119,0021	7,705981	0,006452303	3,925834
Внутри	1729,596	112	15,44282			
Итого	1901,481	119				

Таблица 13 – Дисперсионный анализ влияния факторов "Среда опыта (сн.вода, почва)" и "Район" на длину надземной части кресс-салата на 7 сутки эксперимента

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Среда опыта (сн.вода, почва)	32,03333	1	32,03333	15,78284	0,000126	3,925834
Внутри	227,3187	112	2,029631			
Итого	268,2197	119				

По результатам двухфакторного дисперсионного анализа показателей общей длины, длины надземной части, корневой системы проростков кресс-салата на 14 сутки эксперимента можно сделать следующие выводы:

1. Обнаружен статистически значимый ($p < 0,05$) эффект взаимодействия факторов среда опыта (сн.вода, почва) и район для общей длины проростка. Лучше всего кресс-салат растет в снеготалой воде о. Татышев, в почве – парка имени Гагарина. Показатель силы влияния для взаимодействия составляет 8,95% (таблица 14).

2. Длина надземной части проростка ($p < 0,001$) от среды проращивания семян (снеготалая вода, почва). Показатель силы влияния данного фактора составляет 8,31%. Максимальная длина отмечена для проростков кресс-салата на 14 сутки эксперимента в почве, минимальная – в снеготалой воде. Обнаружен статистически значимый ($p < 0,05$) эффект взаимодействия факторов среда опыта (сн.вода, почва) и район для длины надземной части проростка. Длина надземной части проростка кресс-салата максимальна в снеготалой воде мкр. Ветлужанка, в почве – района Цементного завода. Показатель силы влияния для взаимодействия составляет 8,10% (таблица 15).

3. Длина корневой системы проростка ($p < 0,05$) зависит от среды проращивания семян (снеготалая вода, почва). Показатель силы влияния данного фактора составляет 3,73%. Здесь обратная ситуация: максимальная длина отмечена для проростков кресс-салата на 14 сутки эксперимента в снеготалой воде, минимальная – в почве. Обнаружен статистически значимый ($p < 0,05$) эффект взаимодействия факторов среда опыта (сн.вода, почва) и район для длины корневой системы проростка. Показатель силы влияния для взаимодействия составляет 8,54% (таблица 16). Длина корневой системы кресс-салата максимальна в снеготалой воде о. Татышев, в почве – в контроле.

Таблица 14 – Дисперсионный анализ влияния факторов "Среда опыта (сн.вода, почва)" и "Район" на общую длину проростков кресс-салата на 14 сутки эксперимента

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Взаимодействие	139,087	3	46,36233	3,738044	0,01325	2,685643
Внутри	1389,117	112	12,40283			
Итого	1553,74	119				

Таблица 15 – Дисперсионный анализ влияния факторов "Среда опыта (сн.вода, почва)" и "Район" на длину надземной части кресс-салата на 14 сутки эксперимента

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Среда опыта (сн.вода, почва)	15,33675	1	15,33675	11,2789	0,001072	3,925834
Взаимодействие	14,95225	3	4,984083	3,665377	0,014522	2,685643
Внутри	152,2947	112	1,359774			
Итого	184,4799	119				

Таблица 16 – Дисперсионный анализ влияния факторов "Среда опыта (сн.вода, почва)" и "Район" на длину корневой системы кресс-салата на 14 сутки эксперимента

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Среда опыта (сн.вода, почва)	36,19008	1	36,19008	4,952377	0,028058	3,925834
Взаимодействие	82,75092	3	27,58364	3,774641	0,012653	2,685643
Внутри	818,4533	112	7,307619			
Итого	968,6059	119				

По результатам двухфакторного дисперсионного анализа показателей общей массы, массы надземной части, корневой системы частей проростков кресс-салата на 7сутки эксперимента можно сделать следующие выводы:

1. Общая масса проростка статистически значимо ($p < 0,05$) зависит от среды проращивания семян (снеготалая вода, почва). Показатель силы влияния данного фактора составляет 20,36%. Максимальная масса отмечена для проростков кресс-салата на 7 сутки эксперимента в почве, минимальная – в снеготалой воде. Обнаружен статистически значимый ($p < 0,05$) эффект взаимодействия факторов среда опыта (сн.вода, почва) и район для средней общей массы проростков. Лучше всего кресс-салат растет в снеготалой воде мкр. Ветлужанка, в почве – парка имени Гагарина. Показатель силы влияния для взаимодействия составляет 31,39% (таблица 17).

2. Обнаружен статистически значимый ($p < 0,05$) эффект взаимодействия факторов среда опыта (сн.вода, почва) и район для массы надземной части проростка. Показатель силы влияния для взаимодействия составляет 36,01% (таблица 18). Масса надземной части проростков кресс-салата максимальна в снеготалой воде мкр. Ветлужанка, в почве – парка имени Гагарина.

3. Масса корневой системы проростка ($p < 0,05$) зависит от среды проращивания семян (снеготалая вода, почва). Показатель силы влияния данного фактора составляет 26,24%. Обнаружен статистически значимый ($p < 0,05$) эффект взаимодействия факторов среда опыта (сн.вода, почва) и район для длины нижней части проростка. Показатель силы влияния для взаимодействия составляет 23,92% (таблица 19). Максимальная масса отмечена

для проростков кресс-салата на 7 сутки эксперимента в почве, минимальная – в снеготалой воде. Масса корневой системы проростков кресс-салата в разных районах статистически значимо ($p < 0,05$) различается. Минимальная масса отмечена для пробы почв и снеготалой воды района Цементного завода. Максимальная для проростков кресс-салата на 7 сутки эксперимента – в почве парка им. Гагарина, для снеготалой воды – мкр. Ветлужанка. Показатель силы влияния фактора район на массу нижней части проростков составляет 23,16% (таблица 19).

Таблица 17 – Дисперсионный анализ влияния факторов "Среда опыта (сн.вода, почва)" и "Район" на общую массу проростков кресс-салата на 7 сутки эксперимента

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Среда опыта (сн.вода, почва)	0,001648	1	0,001648	10,06352085	0,005912	4,493998
Взаимодействие	0,002541	3	0,000847	5,171117018	0,010909	3,238872
Внутри	0,002621	16	0,000164			
Итого	0,008095	23				

Таблица 18 – Дисперсионный анализ влияния факторов "Среда опыта (сн.вода, почва)" и "Район" на массу надземной части кресс-салата на 7 сутки эксперимента

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Взаимодействие	0,001132	3	0,000377	4,103095	0,024484	3,238872
Внутри	0,001471	16	9,2E-05			
Итого	0,003143	23				

Таблица 19 – Дисперсионный анализ влияния факторов "Среда опыта (сн.вода, почва)" и "Район" на общую массу корневой системы кресс-салата на 7 сутки эксперимента

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Среда опыта (сн.вода, почва)	0,000554	1	0,000554	15,74047	0,001105	4,493998
Район	0,000489	3	0,000163	4,631774	0,016253	3,238872
Взаимодействие	0,000505	3	0,000168	4,782286	0,014514	3,238872
Внутри	0,000563	16	3,52E-05			
Итого	0,002111	23				

По результатам двухфакторного дисперсионного анализа показателей общей массы, массы надземной части, массы корневой системы проростков на 14 сутки эксперимента можно сделать следующие выводы:

1. Масса надземной части проростка статистически значимо ($p < 0,05$) зависит от среды проращивания семян (снеготалая вода, почва). Показатель силы влияния данного фактора составляет 34,72%. (таблица 20). Максимальная масса надземной части проростков кресс-салата на 14 сутки эксперимента отмечена в почве, минимальная – в снеготалой воде.

2. Масса корневой системы проростка ($p < 0,001$) зависит от среды проращивания семян (снеготалая вода, почва). Показатель силы влияния данного фактора составляет 71,95% (таблица 21). Здесь наблюдается обратная ситуация: максимальная масса отмечается в снеготалой воде, минимальная – в почве.

Таблица 20 – Дисперсионный анализ влияния факторов "Среда опыта (сн.вода, почва)" и "Район" на массу надземной части проростков кресс-салата на 14 сутки эксперимента

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Среда опыта (сн.вода, почва)	0,002471	1	0,002471	13,01113	0,002364	4,493998
Внутри	0,003038	16	0,00019			
Итого	0,007115	23				

Таблица 21 – Дисперсионный анализ влияния факторов "Среда опыта (сн.вода, почва)" и "Район" на массу корневой системы кресс-салата на 14 сутки эксперимента

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Среда опыта (сн.вода, почва)	0,002596	1	0,002596	70,29241	3E-07	4,493998
Внутри	0,000591	16	3,69E-05			
Итого	0,003608	23				

Общие значения силы влияния различных факторов, полученные при двухфакторном дисперсионном анализе, представлены в таблице 22. Фактор района исследования проявляется только для массы корневой системы проростков кресс-салата на 7 сутки опыта, его сила не достаточно велика и

составляет 23,16 %, то есть больше 70% приходится на неучтенные факторы. Из описанных выше статистических анализов наблюдается лучшее развитие проростков как на 7, так и на 14 сутки опыта в почвенном субстрате, чем в снеготалой воде.

Таблица 22 – Результаты двухфакторного дисперсионного анализа влияния факторов на показатели кресс-салата

Линейные размеры проростков кресс-салата	Сила влияния фактора среда опыта (сн.вода, почва), %	Сила влияния фактора район исследования, %	Сила влияния взаимодействия факторов, %
Длина проростка полностью (7 сутки эксперимента)	6,25	нет	нет
Длина надземной части (7 сутки эксперимента)	11,94	нет	нет
Длина корневой системы (7 сутки эксперимента)	нет	нет	нет
Масса проростка полностью (7 сутки эксперимента)	20,36	нет	31,39
Масса надземной части (7 сутки эксперимента)	нет	нет	36,01
Масса корневой системы (7 сутки эксперимента)	26,24	23,16	23,92
Длина проростка полностью (14 сутки эксперимента)	нет	нет	8,95
Длина надземной части (14 сутки эксперимента)	8,31	нет	8,1
Длина корневой системы (14 сутки эксперимента)	3,73	нет	8,54
Масса проростка полностью (14 сутки эксперимента)	нет	нет	нет
Масса надземной части (14 сутки эксперимента)	34,72	нет	нет
Масса корневой системы (14 сутки эксперимента)	71,95	нет	нет

Также был проведен однофакторный дисперсионный анализ, было выявлено следующее:

1. Между изучаемыми районами города обнаружены статистически значимые ($p < 0,05$) различия по общей массе проростка кресс-салата, пророщенного в почве, на 7 сутки опыта. Показатель силы влияния составил

72,24% (таблица 23). Максимальная масса отмечена для проростков, помещенных в почву парка им. Гагарина, минимальная – мкр. Ветлужанка.

2. Между изучаемыми районами города обнаружены статистически значимые ($p < 0,05$) различия по длине надземной части проростка кресс-салата, пророщенного в почве, на 14 сутки опыта. Показатель силы влияния составил 14,3% (таблица 24). Максимальная длина отмечена в пробе с почвой р-на Цементного завода, минимальная – для контрольной пробы.

3. Между изучаемыми районами города обнаружены статистически значимые ($p < 0,05$) различия по длине корневой системы кресс-салата, пророщенного в снеготалой воде на 14 сутки опыта. Показатель силы влияния составил 14,95% (таблица 25). Минимальная длина корневой системы отмечена для пробы снеготалой воды р-на Цементного завода, максимальная – для пробы о. Татышев.

Таблица 23 – Результаты дисперсионного анализа влияния района на массу проростка кресс-салата, пророщенного в почве, на 7 сутки эксперимента

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между районами	0,001901	3	0,000634	6,939675	0,012883	4,066181
Внутри районов	0,000731	8	9,13E-05			
Итого	0,002632	11				

Таблица 24 – Результаты дисперсионного анализа влияния района на длину надземной части проростка кресс-салата, пророщенного в почве, на 14 сутки эксперимента

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между районами	11,9325	3	3,9775	3,114664	0,033297	2,769431
Внутри районов	71,51333	56	1,277024			
Итого	83,44583	59				

Результаты, полученные при однофакторном дисперсионном анализе, показывают большое влияние района на массу проростков тест-растения на 7 сутки опыта (больше 70%).

Таблица 25 – Результаты дисперсионного анализа влияния района на длину корневой системы проростка кресс-салата, пророщенного в снеготалой воде, на 14 сутки эксперимента

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между районами	97,49933	3	32,49978	3,281977	0,027369	2,769431
Внутри районов	554,54	56	9,9025			
Итого	652,0393	59				

При определении достоверности разности средних при оценке длины и массы проростков кресс-салата в образцах почвенного покрова и снеготалой воды исследуемых районов г. Красноярска с контрольным вариантом по критерию Стьюдента (приложение Б) было выявлено, что отличия достоверны по все районам только для длины надземной части в почве на 14 сутки опыта.

ВЫВОДЫ

В целях диагностики экспериментальным путем были использованы образцы почвенного покрова и снеготалой воды территории г. Красноярска.

1. Анализ содержания тяжелых металлов в почвенном покрове показал дифференциацию районов по уровню превышения ПДК подвижных форм тяжелых металлов. Наибольшей степенью превышения ПДК подвижных форм тяжелых металлов характеризуется район Цементного завода (по всем из 7 исследуемых элементов). В районах парка имени Гагарина превышена ПДК по 5 исследуемым элементам, на о. Татышев по 4, мкр. Ветлужанка по 2 из 7 элементов.

2. Уровень хемилюминесцентной активности различен в образцах почвенного покрова и снеготалой воды по изучаемым районам. Наибольшая интенсивность зарегистрирована в районе парка имени Гагарина и Цементного завода, наименьшая – в мкр. Ветлужанка. Более высокие значения хемилюминесцентной активности зарегистрированы в водной вытяжке образцов почвенного покрова по сравнению с образцами снеготалой воды.

3. Установлено, что энергия прорастания и всхожесть семян кресс-салата при проращивании в образцах почвенного покрова и снеготалой воды не имеет достоверных отличий по районам исследования.

4. Не выявлено однозначных реакций кресс-салата на различные условия эксперимента. Превышение и снижение размерных показателей не имеет достоверного уровня на 7 сутки опыта.

5. Совокупность полученных данных не позволяет характеризовать развитие семян и размерные показатели проростков кресс-салата как значимые тест-реакции на различие изучаемых образцов. Кресс-салат сорта «Забава» не рекомендуется для проведения биотестирования почвенного покрова и снежного покрова территории г. Красноярска.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Антипова, С. В. Урбанофлора города Красноярска (сосудистые растения): монография / С. В. Антипова, Е. М. Антипова – Красноярск: Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева. – 2016. – 372 с.
2. Багдасарян, А. С. Эффективность использования тест-систем при оценке токсичность природных сред / А. С. Багдасарян // Экология и промышленность России. – 2007. – №8. – С. 44–48.
3. Бадмаева, С. Э. Экологический мониторинг состояния воздуха в зоне действия Красноярского алюминиевого завода (ООО «КРАЗ») / С. Э. Бадмаева, В. И. Циммерман // Актуальные проблемы современной науки. – 2014. – № 1. – С. 132-133.
4. Бардина, В. И. Экотоксикологическая оценка компонентов окружающей среды рекреационной зоны Ленинградской области / В. И. Бардина // Водная среда и природно-территориальные комплексы: исследование, использование, охрана: материалы 4 школы-конференции молодых ученых с междунар. участием (26–28 августа 2011 г.). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011. – С. 210-211.
5. Бардина, Т. В. Изучение экотоксичности урбаноземов методами биотестирования / Т. В. Бардина, М. В. Чугунова, В. И. Бардина // Живые и биокосные системы. – 2013. – Вып. 5. Режим доступа: <http://www.jbks.ru/archive/issue-5/article-8.pdf>.
6. Бармин, А. Н. Современные проблемы городских почв / А. Н. Бармин, А. В. Синцов // Геология, география и глобальная энергия. – 2007. – № 2. – С. 26–29.
7. Батлущая, И. В. Практикум по дисциплине «Биоиндикация состояния среды»: Учеб.-метод. пособие // И. В. Батлущая, О. А. Маканина, Е. А. Болховитина. – Белгород: Издательский дом, 2014. – 74 с.

8. Белоусова, З. П. Генотоксичность производных индола / З. П. Белоусова, Е. С. Селезнева // Вестник СамГУ – Естественнонаучная серия. – Второй спец. Выпуск. – 2004. – С. 106 – 113.

9. Берсенева, М. Л. Содержание тяжелых металлов в снеговом покрове окрестностей города Красноярска / М. Л. Берсенева // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития: XIV международная научн.-практ. конф. (Красноярск, 19-21 апреля 2016 г.). – Изд-во: Красноярский ГАУ, Красноярск, 2016. – С. 153-155.

10. Блинова, З. П. Биотестирование почвенного покрова городских территорий с использованием проростков *Raphanus Sativius* / З. П. Блинова // Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки». – 2014. – № 1. – С.18–23. 68

11. Богдановский, Г. А. Химическая экология / Г. А. Богдановский – М.: МГУ, 1994. – 238 с.

12. Бузановский, В. А. Газоаналитические устройства для контроля состояния воздуха рабочей зоны / В. А. Бузановский, А. А. Булаев // Медицина труда и промышленная экология. – 2008. – № 10. – С. 37-45.

13. Быковский, Н. А. Исследование токсичности дистиллерной жидкости аммиачно- содового производства различными тест-объектами / Н. А. Быковский, Л. Н. Пучкова, Н. Н. Фанакова // Экология и промышленность России. – 2015. – Т. 19. – № 10. – С. 48-51.

14. Василенко, В. Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова / В. Н. Василенко, Н. М. Назаров – Л., 1985. – 256 с.

15. Василенко, В. Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова / В. Н. Василенко, И. М. Назаров, Ш. Д. Фридман – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 182 с.

16. Василенко, В. Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова / В. Н. Василенко, Н. М. Назаров – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 256 с.

17. Владимиров, Ю. А. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах / Ю. А. Владимиров, А. И. Арчаков – М.: Наука, 1972.– 252 с.

18. Владимиров, Ю. А. Сверхслабые свечения при биохимических реакциях / Ю. А. Владимиров. – М.: Наука, 1966.– 126 с.

19. Волошин, Е. И. Особенности фонового содержания микроэлементов в пахотных почвах Красноярского края / Е. И. Волошин // Вестник КрасГАУ. – 2012. - № 5. – С. 147-149.

20. Горбачев, В. Н. Геохимическое загрязнение почвенного покрова пригородных зон городов Красноярского края и республики Хакасии и проблема экологической безопасности населения / В. Н. Горбачев, В. П. Атурова, Р. М. Бабинцева [и др.] // Проблемы использования и охраны природных ресурсов Центральной Сибири / Краснояр. науч.-исслед. ин-т геологии и минерал. сырья. – Красноярск, 2000. – Вып. 2. – С. 89-95.

21. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2015 году». – 314 с. Режим доступа: <http://krasecology.ru/>.

22. Даминев, Р. Р. Allium-тест и математическая модель при оценке токсичности циклических аммониевых соединений / Р. Р. Даминев, А. А. Исламутдинова, А. И. Шаяхметов // Экология урбанизированных территорий. – 2012. – № 2. – С. 80-84.

23. Демиденко, Г. А. Влияние показателей климата и погодных явлений крупных городов на психофизиологическое состояние человека / Г. А. Демиденко // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 7. – С. 3-8.

24. Демиденко, Г. А. Мониторинг окружающей среды: учеб. пособие / Г. А. Демиденко, Н. В. Фомина. – Красноярск: Краснояр. гос. аграрн. ун-т, 2013. – 154 с.

25. Дятлов, С. Е. Роль и место фитотестирования в комплексном мониторинге окружающей среды / С. Е. Дятлов // Экология окружающей среды. – 2003. – Вып. 51. – С. 83–89.

26. Евгеньев, М. И. Тест - методы и экология / М. И. Евгеньев // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – №11. – С. 29 - 34.

27. Ершов, Г. Л. Оценка степени загрязнения снега вблизи автодорог с интенсивным движением автотранспорта / Г. Л. Ершов, Р. Г. Парасич // Вестник Омского государственного педагогического университета. – 2006. – №41. – 5 с.

28. Журавлев, А. И. Низкая интенсивность спонтанной биохемилюминесценции – свойство жизни / А. И. Журавлев // Теоретические и методические основы биохемилюминесценции. – 1986. – С. 3-10.

29. Звягина, А. С. Биологическое тестирование почвы на остаточное количество гербицидов с помощью высших растений / А. С. Звягина // Наука Кубани. – 2015. – № 1. – С. 19-25.

30. Игнетенко, О. В. Загрязнение тяжелыми металлами почвенного покрова территории промышленного воздействия / О. В. Игнетенко, Е. Л. Васильева, Н. А. Мещерова // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. – 2005. – Т. 1. – С. 106-110.

31. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение / В. Б. Ильин – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 155 с.

32. Илющенко, В. П. Чувствительность *Allium* — теста к присутствию тяжелых металлов в водной среде / В. П. Илющенко, В. Н. Щегольков // Химия и технология воды. – 1990. – Т. 12. – №3. – С. 275 – 278.

33. Кириенко, Н. Н. Использование методов биотестирования при анализе загрязненности снегового покрова г. Красноярска / Н. Н. Кириенко, А. С. Черепанова // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 5. – С. 244-247.

34. Козлов, Ю. П. Основы физико-химической экологии / Ю. П. Козлов // Новая наука: опыт, традиции, инновации: Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции (24 января 2016 г., г. Омск) в 2 ч. Ч.2 - Стерлитамак: РИЦ АМИ, 2016. – С. 8-13.

35. Козлов, Ю. П. Основы физико-химической экологии / Ю. П. Козлов // Новая наука: опыт, традиции, инновации: Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции (24 января 2016 г., г. Омск) в 2 ч. Ч.2 - Стерлитамак: РИЦ АМИ, 2016. – С. 8-13.

36. Козлов, Ю. П. Роль свободных радикалов в биосфере / Ю. П. Козлов // Вестник РУДН: Сер. Экология и БЖ. – 2001. - № 7. – С. 13-17.

37. Козлов, Ю. П. Свободно-радикальный баланс как «химический регулятор» в био- и экосистемах / Ю. П. Козлов, Ю. И. Скурлатов // Докл. [Всероссийская конференция «Актуальные проблемы экологии и природопользования», Москва, 22-24 апр., 2003]. – 2004. - № 5. – С. 98-102.

38. Козлов, Ю. П. Свободно-радикальный баланс как «химический регулятор» в био- и экосистемах / Ю. П. Козлов, Ю. И. Скурлатов // Докл. [Всероссийская конференция «Актуальные проблемы экологии и природопользования», Москва, 22-24 апр., 2003] Источник: – 2004. - № 5. – С. 98-102.

39. Козлов, Ю. П. Современные проблемы физико-химической экологии / Ю. П. Козлов // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». – 2008. - Т. 1, № 2. - С. 115–119.

40. Козлов, Ю. П. Современные проблемы физико-химической экологии / Ю. П. Козлов // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». – 2008. - Т. 1, № 2. - С. 115–119.

41. Колесников, С. И. Экологическое состояние и функции почв в условиях химического загрязнения: монография / С. И. Колесников, К. Ш. Казеев, В. Ф. Вальков. – Ростов н/Д: Изд-во Ростиздат, 2006. – 385 с.

42. Коломыц, Э. Г. Природный комплекс большого города: Ландшафтно-экологический анализ / Э. Г. Коломыц [и др.]. – М.: Наука; МАИК «Наука/Интерпериодика», 2000. – 286 с.

43. Коротченко, И. С. Загрязнение почвенного покрова рекреационных зон г. Красноярска / И. С. Коротченко, Е. Я. Мучкина // Международный журнал экспериментального образования. – 2017. – № 3-2. – С. 177.

44. Коротченко, И. С. Тяжелые металлы в техногенных поверхностных образованиях Красноярской агломерации / И. С. Коротченко, Е. Я. Мучкина // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 4. – С. 224-231.

45. Красноярск. Туристско-информационный центр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://welcomekrsk.ru>.

46. Кузьмин, П. П. Процесс таяния снежного покрова / П. П. Кузьмин – Л., 1981. – 345 с.
47. Куриленко, В. В. Основы экогеологии, биоиндикации и биотестирования / В. В. Куриленко, О. В. Зайцева, Е. А. Новикова и др. (под ред. В. В. Куриленко). – СПб.: Изд - во СПбГУ, 2004. – 448 с.
48. Ладонин, Д. В. Влияние компонентов почвы на поглощение тяжелых металлов в условиях техногенного загрязнения / Д. В. Ладонин, М. М. Карпухин // Почвоведение. – 2008. – № 11. – С. 105–115.
49. Лебедев, В. П. Биотестирование загрязнения и токсичности водной среды / В. П. Лебедев // Экологическая культура и образование: инновационный опыт Вологодской области – Вологда, 2006. – С. 94 – 98.
50. Лебедев, В. П. Биотестирование загрязнения и токсичности водной среды / В. П. Лебедев // Экологическая культура и образование: инновационный опыт Вологодской области. – Вологда, 2006. – С. 94-98.
51. Лисовицкая, О. В. Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения / О. В. Лисовицкая, В. А. Терехова // Доклады по экологическому почвоведению. – 2010. – Т. 1, № 13. – С. 1-18.
52. Лобанов, А. И. Экологическая ситуация в г. Красноярске на 2011 г. / А. И. Лобанов, Н. Н. Морозова // Разработка механизмов взаимодействия различных субъектов городского сообщества для обеспечения экологической безопасности городской среды: материалы науч.-практич. семинара. – Красноярск, 2011. – 119 с.
53. Мамедов Т. Г. Биохемилюминесценция клеток и тканей / Т. Г. Мамедов. – Баку: Элм, 1982.– 191 с.
54. Мамедов, Р. М. Системный анализ экологического состояния почв и водных объектов в районах нефтедобычи с применением биотестирования: автореф. дис. ... канд. биол. наук : 05.13.01 / Мамедов Рауф Мамедович. – Сургут, 2009. – 22 с.

55. Маячкина, Н. В. Особенности биотестирования почв с целью их экотоксикологической оценки / Н. В. Маячкина, М. В. Чугунова // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2009. – № 1. – С. 84-93.

56. Мелехова, О. П. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / О. П. Мелехова, Е. И. Сарапульцева, Т. И. Евгеева и др.; под ред. О. П. Мелеховой и Е. И. Сарапульцевой. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 288 с.

57. Мелихова, О.П. Биологический контроль окружающей среды (биоиндикация и биотестирование) / под ред. О. П. Мелиховой и Е. И. Егоровой – М.: Академия, 2007. – 288 с.

58. Минкина, Т. Тяжелые металлы в почвах. Процессы миграции, трансформации и аккумуляции: монография. – Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2011. – 518 с.

59. Науменко, О. А. Исследование механизма повреждающего действия избыточных концентраций кадмия на состояние антиоксидантных ферментов кресс-салата / О. А. Науменко, Е. В. Саблина, М. И. Кабышева, Е. А. Костенецкая // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – № 10 (159). – С. 205-207.

60. Павлов, П. Д. Оценка состояния загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами (на примере Александровского полигона захоронения ТБО г. Саратова) / П. Д. Павлов, М. В. Решетников, В. Н. Ерёмин // Аграрный научный журнал. – 2016. – № 1. – С. 21-23.

61. Перельман, А. И. Геохимия ландшафта / А. И. Перельман. – М.: Высш. шк., 1975. – 341 с.

62. Подробная карта Красноярска с детализацией до дома [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://2gis.ru/krasnoyarsk>.

63. Полимакова, А. М. Активированная хемилюминесценция как метод оценки радикалообразующей способности ткани мозга / А. М. Полимакова, Г. Р. Хакимова, Г. К. Владимиров, Т. В. Жидкова, Д. Ю. Измайлов, Е. В.

Проскурнина, М. В. Угрюмов, Ю. А. Владимиров // Технология живых систем. – 2012. – Т. 9, № 10. – С. 3-13.

64. Радченко, Н. М. Методы биоиндикации в оценке состояния окружающей среды / Н. М. Радченко, А. А. Шабунов – Вологда: Издательский центр ВИРО, 2006. – 148 с.

65. Реймерс, Н. Ф. Экология. Теории, законы, правила, принципы и гипотезы. - М: Россия молодая, 1994. - 366 с.

66. Рихтер, Г. Д. Роль снежного покрова в физико – географическом процессе / Г. Д. Рихтер. – Л. .: Гидрометеиздат, 1989. – 189 с.

67. Смит, У. Х. Лес и атмосфера / У. Х. Смит. – М.: Прогресс, 1985. – 429 с.

68. Тарасенко, И. Н. К вопросу о биотестировании / И. Н. Тарасенко // Экология и охрана окружающей среды. – 1999. – №5. – С.56–59.

69. Телитченко, М. М. Введение в проблемы биохимической экологии / М. М. Телитченко, С. А. Остроумов. – М.: Наука, 1990. – 256 с.

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

71. Терехова, В. А. Реализация биотической концепции экологического контроля в почвенно-экологическом нормировании / В. А. Терехова // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2012. – № 4. – С. 31-34.

72. Трешоу, М. Загрязнение воздуха и жизнь растений / М. Трешоу. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 534с.

73. Усков, А. В. Накопление различных вредных веществ в осадках / А. В. Усков. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 168 с.

74. Фархутдинов, Р. Р. Свободнорадикальное окисление: мифы и реальность (избранные лекции) / Р. Р. Фархутдинов // Медицинский вестник Башкортостана. – 2006. – Т. 1, № 1. – С. 146-152.

75. Федотов, А. А. Методы химического анализа объектов природной среды / А. А. Федотов, Г. З. Казиев, Г. Д. Казакова. – М.: КолосС, 2008. – 118 с.

76. Фролова О. А. Гигиеническая оценка факторов риска и здоровье населения молодого индустриального города: Автореф. . канд. мед. наук. — Казань, 2002.— 16 с.

77. Хабибуллин, Р. Р. Теоретические и практические аспекты процесса люминол-зависимой хемилюминесценции в живых организмах / Р. Р. Хабибуллин, А. В. Федосов // Башкирский химический журнал. – 2006. – Т. 13, № 2. – С. 106-107.

78. Хлебопрос, Р. Г. Красноярск. Экологические очерки: монография / Р. Г. Хлебопрос, О. В. Тайсенко, Ю.Д. Иванова [и др.]. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2012. – 130 с.

79. Хотунцев, Ю. А. Экология и экологическая безопасность / Ю. А. Хотунцев. – М.: Издательский центр «Академия», 2002 – 480 с.

80. Циммерман, В. И. Влияние техногенного загрязнения на почвенный покров г. Красноярска / В. И. Циммерман, С. Э. Бадмаева // Почвы степных и лесостепных экосистем Внутренней Азии и проблемы их рационального использования: материалы межд. научно-практ. конф., приуроченной к 90-летию, заслуженного деятеля науки РБ, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Ишигенова Ивана Афанасьевича (Улан-Удэ, 26-27 марта 2015 г.). – Изд-во: БГСХА им. В.Р. Филлипова, 2015. – С. 120-123.

81. Чеснокова, Л. А. Взаимосвязь между содержанием редокс-активных веществ в окружающей среде и выраженностью окислительного стресса у людей и животных / Л. А. Чеснокова, Н. А. Кузьмичева, В. М. Боев, С.И. Красиков, И. В. Михайлова, И. П. Воронкова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 6-0. – С. 589.

82. Чеснокова, С. М. Интегральная оценка состояния окружающей среды в г. Владимире методами биоиндикации и биотестирования / С. М. Чеснокова, Т. А. Трифонова, В. В. Дюков // Сборник материалов юбилейной науч.-практической конференции. – Владимир: Изд-во Владимирского гос. ун-та, 2001. – С. 65–70.

83. Шабалина, О. М. Фитотестирование городских почв с помощью пшеницы (*Triticum aestivum*) и ячменя (*Hordeum sativum*) / О. М. Шабалина, Т. М. Демьяненко // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 3. – С. 107-112.
84. Шуберт, Р. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем: пер. с нем. / Р. Шуберт. – М.: Мир, 1988. – 350 с.
85. Шунелько, Е. В. Экологическая оценка городских почв и выявления уровня токсичности тяжелых металлов методом биотестирования / Е. В. Шунелько, А. И. Федорова // Вестн. Воронеж, гос ун-та. География и экология. – 2000. – № 4. – С. 77 – 83.
86. Cebulska — Wasilewska, A. Synergism between EMS and X – rays for the induction of somatic mutations in *Tradescantia*. / A. Cebulska — Wasilewska, H. P. Leenhouts, K. H. Chadwick // *Rad. Biol.* – 1981. – 40. – P. 163 – 173.
87. Easterly, C. E. Biotesting wastewater for hazard evaluation / Clay E. Easterly, Troyce D. Jones, Larry R. Glass, Bruce A. Owen, Philip J. Walsh // *Water Research.* – 1993. – Vol. 27. – № 7. – P. 1145-1152.
88. File:Gartenkresse.jpg [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=592995>.
89. Grover, LS. Antagonistic effect of gamma radiation on the dormant seed of *Avena fatua* / Grover LS. // *Radiat. Bot.* – 1981. – 15. – P. 439 – 450.
90. Ichikawa, S. In situ monitoring with *Tradescantia* around nuclear power plants / S. Ichikawa // *Environ. Health Persp.* – 1981. – 37. – P. 145 – 164.
91. Ma, T. H. *Tradescantia* micronucleus bioassay and pollen tube aberration test for in situ monitoring and mutagen screening / T. H. Ma // *Environmental Health Perspectives.* – 1981 a. – 37. – P. 85 – 90.
92. Ma, T. H. *Vicia* cytogenetic test for environmental mutagens: a report of the US Environmental Protection Agency Gene – Tox Program / T. H. Ma // *Mutat. Res.* – 1981 b. – 99. – P. 257 – 271.


Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт экологии и географии

Кафедра экологии и природопользования

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Верховец С.В.

« 23 » 06 2017 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Кресс-салат как тест объект для оценки загрязнения городских почв и
снегового покрова

05.04.06 Экология и природопользование

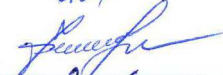
05.04.06.01 Устойчивое развитие и экологическая безопасность

Научный руководитель



профессор, д.б.н. Е.Я. Мучкина

Выпускник



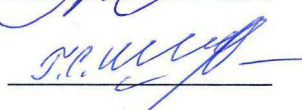
И.В. Федорович

Рецензент



доцент, к.б.н. И.С. Коротченко

Нормоконтролер



Г.С. Шевченко

Красноярск 2017