

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ
Кафедра экологии и генетики

Заведующий кафедрой
д.б.н., профессор
И.В. Пак

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
магистра

ОЦЕНКА КОМПЛЕКСНОГО АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ Г.
ТЮМЕНИ С ПОМОЩЬЮ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ

06.04.01 Биология
Магистерская программа «Экологическая генетика»

Выполнила работу
студентка 2 курса
очной формы обучения

Забродина Виктория Станиславовна

Научный руководитель
д.б.н., профессор

Петухова Галина Александровна

Рецензент
к. б. н., доцент кафедры водных биоресурсов
и аквакультуры Института биотехнологии
и ветеринарной медицины ГАУСЗ

Рыбина Галина Евгеньевна

Тюмень

2020 год

АННОТАЦИЯ

С.66, рис.10, табл.2, прил. 9

Работа посвящена исследованию комплексного антропогенного загрязнения среды г. Тюмени с помощью травянистых растений (овёс и редис). Наибольшее влияние на проростки оказывали загрязнители из района металлургического завода. Проростки редиса были более чувствительны к действию загрязняющих веществ. У исследуемых травянистых растений снижалась всхожесть и морфометрические показатели. У овса и редиса увеличивалась концентрация пигментов фотосинтеза. Активность ферментов антиоксидантной системы, в частности фенолов и каротиноидов, снижена. Изменение содержания пигментов фотосинтеза и ферментов антиоксидантной системы в клетках растений в клетках является ответными реакциями растений на загрязнители почвы из района автотрассы.

Ключевые слова: травянистые растения, морфометрические показатели, всхожесть, антиоксидантная система, пигменты, фенолы, каталаза.

SUMMARY: The work is devoted to the study of complex anthropogenic pollution of the environment of the city of Tyumen with the help of herbaceous plants (oats and radishes). The seedlings were most affected by pollutants from the metallurgical plant area. Radish seedlings were more sensitive to the action of pollutants. In the studied herbaceous plants, germination and morphometric indices decreased. In oats and radishes, the concentration of photosynthesis pigments increased. The activity of enzymes of the antioxidant system, in particular phenols and carotenoids, is reduced. A change in the content of photosynthesis pigments and enzymes of the antioxidant system in plant cells in cells is a response of plants to soil contaminants from the highway area.

Keywords: herbaceous plants, morphometric indicators, germination, antioxidant system, pigments, phenols, catalase.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АФК – активные формы кислорода

АО – антиоксидант

ЖКХ – жилищно-коммунальное хозяйство

ПДК – предельно-допустимая концентрация

СОД – супероксиддисмутаза

ТМ – тяжелые металлы

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	3
ГЛАВА I. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	7
1.1. Загрязнение атмосферы и его виды	7
1.2. Влияние автотранспорта и промышленных предприятий на экосистемы	9
1.2.1. Влияние автотранспорта	9
1.2.2. Влияние промышленных предприятий	13
1.3. Влияние выхлопных газов на растения	14
1.4. Поступление газообразных соединений в растения	17
1.5. Содержание тяжелых металлов в растениях при действии выхлопных газов автотранспорта	19
1.6. Перекисное окисление как ответная реакция на загрязнения.	23
1.7. Антиоксидантная система защиты растений	24
1.8. Биохимические изменения растений в ответ на действия поллютантов	27
1.8.1. Пигментный аппарат	27
1.8.2. Каротиноиды	29
1.8.3. Каталаза	30
1.8.4. Фенолы и флавоноиды	32
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ	35
2.1. Характеристика объектов исследования	35
2.2. Характеристика районов исследования	37
2.3. Сбор растительного сырья и подготовка материала	38
2.4. Определение активности каталазы колориметрическим методом [Королюк, с. 16]	39
2.4. Определение количества фенольных соединений в листьях [Федорова, с. 228]	40
2.5. Методика определения концентрации пигментов фотосинтеза в листьях [Шульгин, 127 с.]	40
2.6. Метод статистической обработки результатов [Лакин, с.352]	41
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ	42

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия антропогенное воздействие стало ведущим по масштабу фактором окружающей среды, который оказывает влияние на состояние территорий. Интенсивное промышленное и сельскохозяйственное использование природных ресурсов вызывает значительные изменения в биогеохимических циклах большинства химических элементов. Это в первую очередь относится к тяжелым металлам (ТМ), накопление которых в природной среде в высоких концентрациях часто связано с антропогенной деятельностью. Значительная часть ТМ, загрязняющих природную среду, попадает в почву, которая является наиболее важным биогеохимическим барьером и основной жизненно-важной сферой для растений, и, соответственно, она испытывает наибольшие негативные воздействия из-за разнообразной производственной деятельности человека и накапливает продукты техногенеза. [Корельский, с.174-175]

Любое крупное поселение людей связано с развитием промышленности, и это влечет за собой шлейф негативных последствий, связанных с техногенным загрязнением атмосферы. Поллютанты оказывают отрицательное влияние на санитарное состояние и жизнеспособность лесных экосистем, которые при длительном воздействии снижают свои средозащитные функции. [Шульц, с. 15]

Одним из приоритетных загрязнителей почвы на сегодняшний день является автомобильный транспорт, а также нефть и ее производные. Биологические свойства почвы реагируют на загрязнение первыми: изменяется общая численность микроорганизмов, их качественный состав, структура микробоценозов, интенсивность микробиологических процессов и активность почвенных ферментов, продуктивность почв и т. д., нарушаются экологические и сельскохозяйственные функции почв. [Неделин, с. 45]

Цель исследования: оценить влияние комплексного антропогенного загрязнения среды в некоторых районах г. Тюмени с помощью травянистых растений.

Задачи исследования:

- 1) изучить всхожесть семян овса и редиса при проращивании в почве из районов нефтеперерабатывающего завода, металлургического завода и автотрассы.
- 2) проанализировать морфометрические показатели проростков выросших в почвах их районов исследования.
- 3) измерить содержание пигментов фотосинтеза, каталазы, фенолов в выращенных растениях.

ГЛАВА I. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Загрязнение атмосферы и его виды

В настоящее время из всех возможных форм деградации природной среды России, именно загрязнение атмосферы токсичными веществами является наиболее опасным. Возникающие экологические проблемы и особенности экологической ситуации в отдельных регионах Российской Федерации обусловлены местными природными условиями и характером воздействия на них промышленности, транспорта, ЖКХ и сельского хозяйства. Уровень загрязнения воздуха зависит, как правило, от степени урбанизации и промышленного развития территории (специфика предприятий, их мощности, месторасположение, применяемые технологии), а также от климатических условий, определяющих вероятность загрязнения воздуха. [Кузнецова, с.1-2]

Одной из глобальных экологических проблем в настоящее время является загрязнение окружающей среды, попадание в природную или антропогенную среду или возникновение в ней новых физических, химических, и биологических химических веществ, которые, как правило, не характерны для этих сред и проявляют вредное воздействие на живые организмы. Деградация природных систем (ландшафты, почвенный покров, природные воды) также приводит к увеличению концентрации некоторых обычных природных веществ или энергии выше фоновых или предельно допустимых уровней. [Баришполец, с.86-87]

Известно более 30 тысяч загрязняющих атмосферу веществ. Вначале они попадают в атмосферу, пруды и почвы. Тогда загрязнение, превышающее установленные стандарты вредного воздействия на окружающую среду, может представлять угрозу для здоровья человека, состояния флоры и фауны и материальных ценностей. Из-за взаимодействия компонентов экосистемы (ландшафта) загрязнение одного из них (например, воздуха) вызывает загрязнение других компонентов (почвы, растительности и т. д.), охватывающих весь ландшафт. [Баришполец, с.86-87]

Загрязнение атмосферы – это процесс привнесения в среду или возникновение в ней новых, обычно нехарактерных для нее физических, химических, биологических агентов, оказывающих негативное воздействие. Основные типы загрязнений: физическое (радиация, электромагнитное излучение и т.д.), химическое (аэрозоли, тяжелые металлы и т.д.), механическое (пыль в атмосфере, строительный мусор), биологическое (микробиологическое, внесение чужеродных видов). Каждый тип загрязнения имеет характерный и специфический для него источник загрязнения – природный или хозяйственный объект, являющийся началом поступления загрязнителя в окружающую среду. [Лысиков, с.35]

Основными природными источниками поступления токсичных веществ, попадающих в окружающую среду, являются ветровая пыль, лесные пожары, вулканический материал, растительность и морские соли. Антропогенными источниками являются первичное и вторичное производство цветных металлов, стали, чугуна, железа; добыча полезных ископаемых; автомобильный транспорт; химическая индустрия; производство фосфорных удобрений; процессы сжигания угля, нефти, газа, древесины, отходов и т. д. Антропогенный поток токсикантов в окружающую среду превалирует над естественным (50-80%) и лишь в некоторых случаях сопоставим с ним. [Ляшенко, с.5]

Формирующиеся в результате этих воздействий техногенные аномалии подразделяются на 3 типа:

- 1) глобальные, охватывающие весь земной шар;
- 2) региональные, охватывающие часть материка, страны, области;
- 3) локальные, радиусом до нескольких десятков километров, связанные с определенным источником загрязнения. Загрязнение происходит в форме атмосферных пылевых, твердых и жидких выпадений, газопоступления и в растворенной форме из ирригационных, поверхностных, стоковых, паводковых и грунтовых вод, а также путем непосредственного внесения химических веществ в сельском и лесном хозяйстве, за счет поступления веществ из сва-

лок, мест складирования продукции и отходов, за счет разливов нефти. Поскольку почва является более устойчивой системой, чем вода и воздух, она способна сопротивляться загрязнению. Но когда внешнее воздействие преодолевает это сопротивление, почва неизмеримо дольше, чем другие среды, остается в загрязненном состоянии и тем самым представляет собой источник отрицательного влияния на здоровье людей и биосферу в целом. [Ивлев, с.88]

1.2. Влияние автотранспорта и промышленных предприятий на экосистемы

1.2.1. Влияние автотранспорта

Одним из крупнейших источников техногенного загрязнения природных экосистем в настоящее время является автомобильный транспорт, а воздействие крупных автомагистралей на лесные сообщества является многофакторным. В условиях интенсивного загрязнения автотранспорта большие количества загрязняющих веществ попадают на поверхность почвы, главным образом, по воздуху - в виде сухих осадков, а также в виде аэрозолей и осадков. Некоторые поступающие элементы, в частности тяжелые металлы, такие как свинец, цинк и медь, могут накапливаться в почве, образуя плохо растворимые и сложные соединения с органическими веществами. [Лысиков, с. 40]

Сегодня, быстро развивающийся транспорт сосредоточен в районах крупных транспортных узлов и мегаполисов, где отмечается высокое загрязнение атмосферы токсичными и канцерогенными веществами. В группу наиболее опасных загрязнителей, поступающих в воздух при эксплуатации транспортных средств, входят оксиды азота (NOX) и серы (SOX), монооксид и диоксид углерода (CO и CO₂), полициклические ароматические углеводороды и мелкодисперсные взвешенные частицы (PM10 и PM2.5), способные адсорбировать на своей поверхности вредные вещества. Они могут сохраняться в атмосфере в течение длительного времени, перемещаться на очень большие расстояния, взаимодействуя друг с другом и создавая новые, более токсичные вещества. [Иванченко, с.26]

Анализ состояния атмосферного воздуха показывает, что основную долю выбросов, в зависимости от типа автотранспортных средств и используемого топлива, составляют выбросы оксидов углерода, азота, свинца и его соединений, остатков несгоревшего топлива. Среди главных загрязнителей атмосферы, попадающих в городскую атмосферу вместе с выхлопными газами автомобилей, - свинец, который добавляют к некачественным бензинам для улучшения их качества. [Парфенова, с.20]

Дымовые газы действуют на растения комплексно. Вредное влияние токсичных газов на растения происходит путем прямого их воздействия на ассимиляционный аппарат и косвенно — через почву. Первое приводит к ухудшению роста, отмиранию органов, снижению количества и качества урожая, а второе уменьшает плодородие почвы, вызывает гибель полезной микрофлоры, отравление корневой системы, нарушение минерального питания и как следствие — снижение урожая. Токсичные газы могут также усиливать накопление мутаций. Изменение фотосинтетической активности листьев служит чувствительным показателем их повреждения загрязняющими веществами. Ионы хлора повышают засоление почв, что сказывается на росте и развитии растений. [Березина, с. 29]

В настоящее время ведутся исследования для оценки воздействия дорог на поверхностный сток и транспортных средств на окружающую среду. Установлено, что 100-метровая полоса вдоль дорог с интенсивным движением подвержена наиболее сильному загрязнению. Типичные загрязнители - углеводороды, тяжелые металлы, нефтепродукты, противобледенительные соли - попадают в ручьи и водоемы с талой и дождевой водой. [Уджуху, с.174]

Из таблицы 1 видно, что объем выбросов существенно зависит от конструкции двигателя, при этом дизельные двигатели экологически являются более оптимальными. Качественный и количественный состав отработанных газов зависит от технического состояния, условий и режима работы двигателя. Наиболее резко увеличивается концентрация вредных веществ в выбросах

автомобилей при работе на холостом ходу. Карбюраторные двигатели выбрасывают значительно больше несгоревших углеводородов и продуктов неполного окисления (альдегидов, оксида углерода). [Шарнова, с.5]

Таблица 1

Содержание основных веществ (в объемных %) в выхлопных газах двигателей внутреннего сгорания

Вещество	Двигатель	
	Карбюраторный	Дизельный
Азот	74-77	76-78
Кислород	0,3-0,8	2-18
Водяной пар	3,0-5,5	0,5-4,0
Диоксид углерода	5,0-12,0	1,0-10,0
Оксид углерода	0,5-12,0	0,01-0,5
Оксид азота	0,0-0,8	0,0-0,5
Углеводороды	0,2-3,0	0,01-0,5
Альдегиды	0,0-0,2	0,0-0,01
Сажа г/м ³	0,0-0,4	0,01-1,1
Бено(а)пирен мкг/м ³	До 20	До 10

Пройдя 15 тыс. км, любой автомобильный транспорт выбрасывает в атмосферу более 3 т диоксида углерода, 93 кг углеводородов, 0.5 т оксида углерода, около 30 кг оксидов азота. Само по себе попадание в окружающую

среду с отработанными газами ядовитых веществ является очень нежелательным, так как они представляют реальную опасность для флоры и фауны. [Филин, с. 45]

Сажа — продукт частичного сгорания органического топлива. Сорбированные на ее поверхности углеводороды, в первую очередь полициклические ароматические соединения, обладают канцерогенным действием. Если взять во внимание то, что органические компоненты сажи, выбрасываемые при сгорании дизельного топлива, составляют более 16.5% от ее массы, а в среднем за сутки с выхлопными газами дизельных автомашин и автобусов поступает около 40.5 т сажи, то количество органических компонентов окажется равным 6.475 т. Это значит, что на 1 км улично-дорожной сети их выбрасывается 1.551 кг/сут. [Неверова, 119 с.]

Из полиядерных ароматических углеводородов особенно опасен бенз(а)пирен — сильное канцерогенное соединение. Он чрезвычайно стабилен и всегда присутствует в их смеси. При сжигании одного литра бензина образуется от 50 до 81 мкг бенз(а)пирена, а литра дизельного топлива — от 2 до 170 мкг. И все это поступает в атмосферу города с выхлопными газами.

Оксид углерода (СО) образуется при неполном сгорании органических соединений, его ПДК (предельно-допустимая концентрация) в атмосферном воздухе составляет 0.0008 объемных %. [Источники загрязнения атмосферы полициклическими ароматическими углеводородами в промышленном Прибайкалье, с.944]

Оксиды азота (NO, NO₂) образуются в процессе горения топлива в воздушной среде. ПДК этих оксидов в воздухе еще ниже, чем оксида углерода — 9·10⁻⁶ объемных %. Общий характер их действия зависит от соотношения моно - и диоксида в смеси. [Петросян, с.10-11]

Диоксид серы (SO₂) тоже попадает в атмосферу с выхлопными газами автомобилей. В Великобритании, США и Японии установлено, что вслед за появлением в городском воздухе этого оксида даже на уровне 100 мкг/м³ количество заболеваний дыхательных путей резко возрастало. Кроме

того, установлено, что диоксид серы увеличивает частоту новообразований, вызванных бенз(а)пиреном. [Петросян, с.10-11]

1.2.2. Влияние промышленных предприятий

В индустриальных регионах промышленные предприятия являются основными источниками техногенного воздействия на окружающую среду: атмосферный воздух, водоемы, почва, что влияет на жизнь флоры и фауны. Установлено, что качество почвы, состояние которой зависит от многих природных и техногенных условий, оказывает существенное влияние на жизнедеятельность различных видов растений. [Влияние техногенной среды на жизнедеятельность сельскохозяйственных растений в промышленном регионе, с. 36]

Все виды промышленных загрязнений разделяются на три вида:

а) легкая фракция — это дымо-газовые выделения, к которым относят газы, туманы, сажа, дымы, зола и другие взвешенные в воздухе вещества, которые называются аэрозоли;

б) жидкая фракция — это сточные воды различных предприятий;

в) твердая фракция — это шлаки, шламы, отходы горнорудной и угольной промышленности, «хвосты» от переработки промышленного сырья, складированные в отвалы, поля и другие образования.

Первые две фракции по воздуху и воде распространяются на очень большие расстояния, последние — отвалы — обычно располагаются вблизи источников загрязнения и имеют ограниченный радиус загрязнения. В заводских сточных водах сбрасываются в водоемы огромные количества фтора, хрома, меди, железного купороса, железа, никеля, фенола, смолистых веществ, масел и других соединений в недопустимо высоких концентрациях. [Сенкус, с. 3 – 7]

Состав дымо-газовых выделений очень сложен и зависит от характера производства и сжигаемого топлива. В загрязнении атмосферы участвуют многие органические и неорганические соединения, а в составе последних могут быть выделены металлические и неметаллические компоненты. К ор-

ганическим соединениям, участвующим в загрязнении атмосферы, относятся: различные углеводороды, окись углерода, кетоны, окислы азота, аммиак, альдегиды, органические кислоты и смолистые вещества, пыль органических веществ, многие из которых канцерогены. К неорганическим соединениям относятся многочисленные металлы в чистом виде и в виде различных соединений, а также многочисленные газы и твердые частицы в частности: фтор, хлор, сернистый газ, мышьяк и др., а также туманы кислот, сажа, зола и пыль (тальковая, магнезитовая, кварцевая, каменноугольная, асбестовая и др.). К этой же группе относится радиоактивная пыль и многочисленные радиоаэрозоли. [Тарчевсий, с.14]

1.3. Влияние выхлопных газов на растения

Оценивать поступления вредных веществ от движущихся источников загрязнения крайне трудно. Автомобильные газы представляют собой чрезвычайно сложную, недостаточно изученную смесь более двухсот токсических компонентов. Из них экологическому контролю подвергаются только моноокись углерода и углеводороды в отработавших газах бензиновых двигателей. Таким образом, выбросы наиболее опасных компонентов тяжёлых металлов, окислов серы, азота, углеводородов никак не контролируются. [Семчук, с. 291–294]

Вредные вещества попадают в растения различными способами. Установлено, что выбросы токсичных веществ способны воздействовать как непосредственно на зеленую часть растений, попадая через устьица в ткани, разрушая структуру клеток и хлорофилл, так и через почву на корневую систему. Например, отрицательно действует на корневую систему загрязнение почвы тяжелыми металлами, особенно в соединении с серной кислотой, тем самым повреждая всё растение целиком. Каждое токсичное газообразное вещество обладает специфичным воздействием на состояние растительности. Одни только слабо повреждают листья, хвоинки и побеги (окись углерода, этилен и др.), другие оказывают пагубное действие на растения (диоксид серы, хлор, пары ртути, аммиак, цианистый водород и др.). Наиболее опасным

для растений является диоксид серы (SO_2), под его воздействием погибает большинство деревьев, а в первую очередь хвойные – сосны, ели, пихты, кедры. [Андреева, с.448]

Основными источниками попадания загрязняющих веществ являются оксид углерода, диоксид серы, оксиды азота, хлор и сероводород.

Оксид углерода получается в результате неполного сгорания разных видов топлива. Главные источники – промышленность и автомобильный транспорт. Этот элемент снижает активность дыхательных ферментов, изменяет проницаемость мембран, подкисляет клеточный сок и нарушает фосфорный обмен. [Турмухаметова, с. 233–235]

Диоксид серы подавляет фотосинтез и транспорт веществ, разрушает хлорофилл, изменяет проницаемость мембран и активность ферментов (пероксидаза, каталаза), интенсифицирует дыхание, уменьшает апертуры устьиц, действует на расстоянии 30 км. [Турмухаметова, с. 233–235]

Оксиды азота приводят к краевому некрозу, инактивации каталазы, ксерофитизации, нарушают фосфорный обмен. [Турмухаметова, с. 233–235]

Хлор вызывает набухание хлоропластов, краевой некроз, потерю тургора, инактивацию каталазы, нарушает углеводный и азотный обмен, подкисляет среду, повреждает в основном на близком расстоянии. Сероводород уменьшает апертуры устьиц, увеличивает проницаемость мембран и снижает интенсивность фотосинтеза. [Федорова, 276 с.]

В результате воздействия высокотоксичных загрязняющих веществ на растения их рост замедляется, на концах листьев и хвои образуется некроз, недостаточность ассимиляционных органов и т. д. Увеличение поверхности поврежденных листьев может привести к уменьшению потока влаги из почвы и ее общего содержания влаги, что неизбежно скажется на ее среде обитания. Данные о воздействии отдельных загрязнителей на растительные организмы получены в основном в лабораторных условиях, а в городских условиях растения испытывают комплексное воздействие этих веществ. [Кравкина, 3-9 с.] Сложно отметить особое влияние загрязняющих веществ на расте-

ния, например, некроз и хлороз могут вызвать целый ряд загрязнителей. В условиях городской среды в первую очередь подвергаются физиологические и биохимические свойства, а в результате - морфологическая структура растительных организмов [Турмухаметова, с. 233–235]

На степень повреждения растения влияют два фактора: продолжительность воздействия токсического вещества и его концентрация. В урбанизированной среде снижается ассимиляционная активность деревьев, уменьшается содержание хлорофилла, изменяется кислотность клеточного сока и структура хлоропластов. Токсичные вещества влияют на уменьшение количества белков, нуклеиновых кислот, аскорбиновой кислоты и клетчатки, функция секреции фитонцидов ослабевает. Это приводит к нарушению водного режима растений, изменению активности ферментов и снижению фертильности пыльцы. Накопление на листьях пыли экранирует лист, тем самым быстро повышает (на 25–33 %) поглощение теплового излучения и понижает (\approx на 5–14 %) поступление фотосинтетически активной радиации к пигментам. [Павлов, с.370]

Биогеохимические исследования установили связь между близостью расположения производств машиностроения, черной и цветной металлургии, автомобильных дорог и накоплением в растениях ряда химических элементов (Sr, Va, Pb, Ag, Cu, St, Co, Zn), что приводит к увеличению степени их пораженности [Образцова, с. 47]

У 87 % деревьев, растущих рядом с крупными магистралями, наблюдаются признаки усыхания. В городских условиях нарушена стабильность развития деревьев – изменяется рост побегов, мелкие листья, редкая крона, возникают некрозы на листьях, это тенденция ксерофитизации. Хвойные древесные растения реагируют также на превышение концентрации (от 1 ПДК и выше) промышленных газов появлением некрозов на хвое, ускоренным усыханием нижних ветвей, уменьшением продолжительности жизни хвои в насаждениях (пихта, ель). Урбанизированные экосистемы изменяют феноритмы роста и развития деревьев: ускоряют первые фазы выпускания

почек, начало цветения и сброса листвы, снижают продолжительность глубины покоя. Ослабление в городских условиях древесных растений приводит к распространению болезней и вредителей, что ухудшает их состояние, а в некоторых случаях может стать причиной ранней гибели. [Бухарина, с.216]

Общее воздействие негативных факторов в урбанизированной среде снижает в 2–3 раза продолжительности жизни городских растений. Растения реагируют на нарастающие действие стрессовых факторов по определенным последовательным этапам. На первом этапе изменяются биохимические процессы и метаболизм растений, далее наступают изменения морфологической структуры растений, позднее проявляется трансформация возрастной и виталитетной структур популяции. Последним этапом становится уменьшение распространения вида и полное его выпадение из растительного покрова. [Усманов, с.224]

Все вышеперечисленные уровни сопровождаются адаптацией растительных организмов, поэтому очень важно изучить начальные стадии изменений, то есть реакцию на загрязнение окружающей среды в соответствии с физиологическими и биохимическими реакциями растений, чтобы действовать на следующих стадиях. [Лобанова, с. 144–145]

1.4. Поступление газообразных соединений в растения

Токсичные газообразные соединения проникают в растения разными путями: при газообмене через устьица; с атмосферными осадками; с пылью и аэрозольными частицами, осаждающимися на поверхности листа и побегов.

Токсичный газ, попадая в лист, растворяется в воде клеточных стенок, в результате чего образуется кислота или щелочь, которые взаимодействуют с веществами цитоплазмы. Поступление токсических неорганических соединений в листья условно можно разделить на три фазы: 1) сорбция кутикулярным слоем и клетками эпидермиса; 2) диффузия через устьичные щели внутрь листа и растворение в воде, насыщающей оболочки клеток, выстилающих дыхательные полости; 3) передвижение от мест поглощения к соседним тканям и накопление в клетках. Скорость проникновения токсических

газов через покровные ткани зависит от размеров их молекул или ионов. Интенсивность поступления газообразных загрязнителей в листья зависит от климатических условий. Она увеличивается при гидратации – в период осадков, туманов, выпадения росы. Поступление токсических веществ в листья через покровные ткани при неблагоприятных погодных условиях, например, при длительной летней засухе менее интенсивно, хотя полностью не прекращается. [Чудинова, с. 124]

Некоторые газообразные токсиканты (соединения углерода, серы, азота) в низких концентрациях могут служить источником минеральных элементов, необходимых для растения. В этом случае клетка использует механизмы активного транспорта ионов через плазмалемму. В общих чертах, этот механизм действует совместно с клеточным метаболизмом, пока ионы или другие вещества не нарушают внутриклеточные реакции. Фитотоксиканты, которые попадают в лист, неравномерно распределены по листовой пластинке и по всему растению. Большинство их транспортируется по ксилеме в верхнюю часть или на края листовой пластинки. Проникшие в цитоплазму токсические соединения сосредотачиваются в основном в вакуолях. Транспорт газообразных соединений по растению можно представить следующим образом. Через кутикулу газы диффундируют в клеточные стенки эпидермиса. Затем поглощенные и растворенные газы частично проникают в клетки эпидермиса. Однако большая часть газов распространяется по межклетникам, достигает проводящих сосудов и вовлекается в транспорт к другим органам и тканям. В случае поступления через устьица токсические газы насыщают оболочки клеток, выстилающих дыхательные полости и каналы, растворяются в воде. Одна часть газов проникает в клетку, другая - вместе с током воды транспортируется по жилкам до мест потребления. Однако не все элементы распределяются в растении по указанному пути. Распределение токсических веществ разной химической природы в пределах листовой пластинки и всего растения контролируется не структурой проводящих тканей, а избирательным поглощением каждого из них и зависит от концентрации ток-

сического вещества, скорости его поступления в лист и передвижения по сосудам. При медленном поступлении, но быстром оттоке по ксилемным сосудам токсические соединения сосредотачиваются на верхушке и периферии листа, в результате чего происходят глубокие и необратимые нарушения. В условиях постоянного загрязнения воздуха по краям листа обнаруживается иногда в 50 раз больше фтора, окислов серы, азота, чем в срединной его части. Кроме того, вместе с транспортными метаболитами из сформированных листьев экспортируется часть накопленных токсических веществ. Значительное накопление в молодых листьях токсических веществ, поступающих из средневозрастных листьев, может вызвать их гибель и опадение. Аккумулирующиеся в побегах путем оттока из листьев и притока из корней токсические соединения передвигаются к меристематическим тканям в период их активного состояния и отрицательно влияют на рост побегов, листьев и формирование генеративных органов. Накапливаясь в тканях листа сверх допустимого уровня, токсикант вызывает у растений различные нарушения в структурной организации и функциональной деятельности. [Квеситадзе, с. 199]

1.5. Содержание тяжелых металлов в растениях при действии выхлопных газов автотранспорта

Автомобильный транспорт является обязательным условием функционирования современного индустриального общества. В настоящее время большой вклад в загрязнение окружающей среды и деградацию природных экосистем вносит дорожно-транспортная инфраструктура. Оказывая антропогенное воздействие на почвенный покров, он трансформирует его, изменяет направление процессов почвообразования и свойства почвы, загрязняет их загрязнителями, в частности тяжелыми металлами. [Ложкин, с.201]

ТМ отличаются от других металлов высоким содержанием в промышленных отходах и высокой токсичностью, своей долговечностью и практической невыводимостью из системы «почва – растения – животные – человек». Эти металлы относятся к категории неспецифических загрязняющих ве-

ществ, так как присутствуют практически во всех почвах в том, или ином количестве. [Чикенева, с. 280–282].

Загрязнение воздуха подвижными формами тяжелых металлов автомобильным транспортом происходит в результате сгорания топлива, технологии производства, способа сгорания в двигателе и его технического состояния. Одним из опасных загрязнителей окружающей среды является цинк и свинец. Цинк попадает в придорожное пространство в результате истирания различных деталей, эрозии оцинкованных поверхностей, износа шин вследствие использования присадок, содержащих этот металл в маслах. Так, в качестве антиокислительных присадок к моторным маслам применяют диалкил- и ди-арилдителиофосфаты цинка, которые улучшают также антикоррозионные свойства и уменьшают износ деталей. Массовая доля цинка в моторных маслах для бензиновых двигателей составляет 0,09–0,12%, в маслах для дизельных двигателей — 0,05–0,1%. После отказа от использования соединений кадмия в процессах вулканизации резины и замены их соединениями цинка истирание автомобильных шин также стало одним из источников накопления этого металла вдоль дорог. В последнее время для борьбы с коррозией широко используется за рубежом и интенсивно внедряется у нас оцинковка кузовных деталей автомобилей, прежде всего днища, что влечет за собой дополнительное поступление цинка в придорожное пространство. В результате этих процессов вдоль автомобильных дорог формируются геохимические аномалии цинка. [Пшенин, с.23]

Одним из приоритетных загрязняющих веществ, которые попадают в атмосферу вместе с выхлопными газами автомобилей, является свинец. Когда этилированные бензины сжигаются, около половины содержащегося свинца выбрасывается вместе с выхлопными газами в атмосферу. По разным оценкам, в результате сжигания жидкого топлива ежегодно выбрасывается от 180 до 260 тыс. Тонн частиц свинца, что в 60–130 раз превышает естественное поступление свинца в атмосферу при извержениях вулканов (2-3 тыс. тонн в год). [Парфенова, с.13]

Соединения свинца хорошо фиксируются верхним слоем почвы, содержащим большое количество органических веществ. Взаимодействуя с гумусовым слоем почвы, они образуют труднорастворимые соединения. Это приводит к постоянному накоплению свинца в верхних слоях почвы. При кислой реакции среды существует опасность токсичных металлов в виде труднорастворимых форм в подземных водах. Глубина проникновения тяжелых металлов в загрязненные почвы обычно не превышает 20 см, при сильном загрязнении - 160 см. Максимальное содержание тяжелых металлов приходится на гумусово-аккумулятивный слой горизонт городских почв (от 0 до 10 см, в промышленных зонах — до 20 см), причем 58 % свинцовых загрязнений задерживается на глубине до 6 см. Происходит накопление свинца, цинка, ванадия, хрома, кобальта, никеля, меди. В иллювиальном горизонте накапливаются хром, свинец, цинк, серебро, олово, медь. [Шилкова, с.8]

Практически все количество свинца, которое содержится в топливе, проникает в окружающую среду. Считается, что 20 % в виде аэрозолей выносятся газами, а 80 % в виде частиц размером менее 25 мкм распределяется на поверхность земель, прилегающих к автодороге, формируя с течением времени новый фоновый уровень загрязнения в слое почвы глубиной 20 см. [Никифорова, с. 28-36]

Значительное количество химических элементов, довольно часто обнаруживаемых в организмах, оказывает определенное действие на ход метаболических процессов и ряд физиологических функций. Количественное содержание биоэлементов, из которых состоят живые организмы, значительно варьируется в зависимости от окружающей среды, рациона питания, видов и т. Д. Помимо общего благотворного влияния на рост и развитие, специфическое воздействие ряда микроэлементов на наиболее важные физиологические процессы был установлен - например, фотосинтез в растениях. [Давыдова, с.140]

При увеличении количества металлов в почве снижается её общая биологическая активность, и это отражается на росте и развитии растений, при-

чём разные растения реагируют на избыток металлов по-разному. Металлы распределяются по органам растений неравномерно. В наибольшей степени металлы сосредотачиваются в листьях. Это обусловлено многими причинами, одна из которых – локальное накопление металлов в результате перехода их в малоподвижную форму. Например, в случае медной интоксикации окраска некоторых листьев у растений изменяется до красной и бурокоричневой, что свидетельствовало о разрушении хлорофилла. Токсичность тяжелых металлов связана с их физико-химическими свойствами, со способностью к образованию прочных соединений с рядом функциональных группировок на поверхности и внутри клеток. [Узаков, с.23]

Симптомы "отравления" растений тяжелыми металлами внешне проявляются в замедлении их роста и развития, изменении цвета и увядании листьев, уродливости и недоразвитости корневой системы. При действии Pb происходит ингибирование дыхания и подавление процесса фотосинтеза, иногда увеличение содержания кадмия и снижение поступления цинка, кальция, фосфора, серы, снижение урожайности, ухудшение качества растениеводческой продукции. Внешние симптомы – появление темно-зеленых листьев, скручивание старых листьев, чахлая листва. При действии Cd (1-13) наблюдается нарушение активности ферментов, процессов транспирации и фиксации CO_2 , торможение фотосинтеза, ингибирование биологического восстановления NO_2 до NO , затруднение поступления и метаболизма в растениях ряда элементов питания. Внешние симптомы - задержка роста, повреждение корневой системы, хлороз листьев. При действии Zn (140-250) - хлороз молодых листьев. При действии Cr (200-500) ухудшается рост и развитие растений, увядание надземной части, повреждение корневой системы, хлороз молодых листьев, резкое снижение содержания в растениях большинства незаменимых макро и микроэлементов (K, P, Fe, Mn, Cu, B и др.). Ni (30-100) подавляет процессы фотосинтеза и транспирации. При этом наблюдаются явления эндемического заболевания растений, например уродливые формы. Типичные симптомы повреждающего токсического действия никеля:

хлороз, появление желтого окрашивания с последующим некрозом, остановка роста корней и появления молодых побегов или ростков, деформация частей растения, необычная пятнистость, в некоторых случаях — гибель всего растения. [Узаков, с.23]

Увеличение содержания тяжелых металлов вызывают образование активных форм кислорода (АФК) и активацию перекисного окисления липидов (ПОЛ) в клетках. [Узаков, с.23]

1.6. Перекисное окисление как ответная реакция на загрязнения.

В норме концентрации активных форм кислорода (АФК) в клетке не высоки: концентрация супероксида составляет порядка 10-11 М, пероксида водорода - 10-8М, гидроперекисного радикала – меньше 10-11М. При чрезмерном накоплении АФК возникает состояние, называемое окислительным или окислительным стрессом. В силу своей высокой активности, АФК могут вызывать значительные повреждение важнейших биополимеров: нуклеиновых кислот, белков, липидов и углеводов. Этот процесс называется перекисным окислением, а совокупность этих реакций – окислительными модификациями молекул. Ввиду того, что клетка является мембранной структурой наиболее выраженным действием АФК является повреждение именно клеточных мембран за счет перекисного окисления их липидов (ПОЛ). Наиболее активно свободнорадикальное окисление идет при атаке иницирующим радикалом диаллильного атома углерода, в связи с этим в реакцию наиболее активно вступают полиненасыщенные жирные кислоты липидов мембран. В растениях окислению подвергаются преимущественно линолевая, линоленовая и олеиновая кислоты. Первичными продуктами перекисного окисления липидов являются пентадиенильные радикалы, образующие диеновые конъюгаты и гидроперекиси жирных кислот. Дальнейшее их окисление и распад приводит к образованию широкого спектра 28 конечных продуктов: альдегидных и спиртовых производных с укороченной цепью, в частности 4-гидрокси-2-ноненаль, низкомолекулярные продукты (этан, пентан), малоновый диальдегид, эпоксиды. [Половинкина, с.62]

Диеновые конъюгаты и гидроперекиси можно рассматривать как первичные продукты ПОЛ. В биологических мембранах окислению подвергаются преимущественно полиненасыщенные жирные кислоты, и обнаружение диеновой конъюгации является чувствительным тестом на появление гидроперекисей. Дальнейшее их окисление приводит к образованию широкого спектра конечных продуктов ПОЛ: альдегидных и спиртовых производных с укороченной цепью, в частности 4-гидрокси-2-ноненаль, низкомолекулярные продукты (этан, пентан), эпоксиды и малоновый диальдегид (МДА). [Половинкина, с.62]

Увеличение антропогенной нагрузки приводит к усилению ПОЛ у большинства изученных растений и формированию ответных антиоксидантных реакций. [Тарчевский, с. 294]

1.7. Антиоксидантная система защиты растений

Активные формы кислорода постоянно образуются в животных и растительных клетках в процессах и реакциях, в которых участвует молекулярный кислород. Образование АФК происходит главным образом в хлоропластах, пероксисомах, митохондриях и апопласте. Синглетный кислород (O_2) возникает в хлоропластах в результате взаимодействия молекулярного кислорода (O_2) с возбужденным светом хлорофиллом в триплетном состоянии. В результате поглощения молекулой O_2 избыточной энергии происходит обращение спина одного электрона и формирование чрезвычайно опасного синглетного кислорода. Синглетный кислород, время жизни которого составляет меньше 10^{-6} сек., спонтанно и очень быстро реагирует с различными молекулами, которые повреждают в первую очередь тилакоидные мембраны и белки в составе фотосинтетической цепи. Образование синглетного кислорода происходит в хлоропластах, остальные АФК образуются как в хлоропластах, так и в других клеточных компартментах. Все они представляют собой продукты неполного восстановления кислорода до воды одним, двумя и тремя электронами. В результате захвата молекулой O_2 одного электрона образуется супероксидрадикал ($O_2 \cdot^-$) или его протонированная форма (HO_2).

Восстановление вторым электроном формирует перекись водорода (H_2O_2), а в результате присоединения третьего электрона образуется гидроксилрадикал ($HO\cdot$). Образование $O_2\cdot^-$ и H_2O_2 постоянно происходит в растительных клетках в результате контакта O_2 с восстановленными компонентами электрон-транспортных цепей фотосинтеза и дыхания, а также в некоторых ферментных реакциях, протекающих в цитозоле, пероксисомах и апопласте. Образование гидроксилрадикала ($HO\cdot$) происходит только в результате неферментативных реакций и уже на фоне достаточно высокого содержания в клетках перекиси. [Гарькова, с 15-20]

Система антиоксидантной защиты растительной клетки представляет собой совокупность взаимосвязанных окислительно-восстановительных реакций, в которых участвуют антиоксидантные ферменты и низкомолекулярные метаболиты. АФК появляются в клетке и в процессе нормального функционирования организма. В обычных условиях основными АФК у растений являются фотосинтез и фотодыхание. [Радюкина, с. 10-11]

В стрессовых условиях в растениях повышается образование АФК, которое обусловлено не столько их продукцией, сколько нарушением баланса между генерацией и удалением этих веществ. Следствием этих изменений является развитие окислительного стресса. Однако и в этом случае организмы остаются живыми, что в значительной степени обусловлено системой антиоксидантной, или противоокислительной защиты, «контролирующей» количество АФК в клетках. [Изменения роста проростков и содержания низкомолекулярных антиоксидантов после обработки семян пшеницы биофлавоноидами, с. 26–34]

Все АФК исключительно реактивны и цитотоксичны для организмов. АФК могут реагировать с ненасыщенными жирными кислотами, вызывая перекисное окисление липидов в плазмолемме и внутриклеточных органеллах. Окислительное повреждение плазмолеммы приводит к утечке клеточного содержимого, быстрому обезвоживанию и смерти клетки. Повреждение внутриклеточных мембран влияет на дыхательную активность митохондрий, вы-

зывает деструкцию пигментов, приводит к потере способности фиксировать углерод в хлоропластах. Гидроксильный радикал вызывает окисление пуриновых и пиримидиновых оснований и нуклеиновых кислот, их модификацию, разрывы цепей, повреждение хромосом. Высокие концентрации АФК и липидных гидропероксидов ингибируют синтез ДНК, деление клеток и могут активировать апоптоз. Отрицательные воздействия АФК способны серьезно дезорганизовывать функционирование клеток и организма в целом. Синглетный кислород, супероксид радикал и гидроксилрадикал атакуют мембраны, вступая в реакции с остатками жирных кислот в составе фосфолипидов. В результате возникает каскад свободнорадикальных реакций, который получил название перекисного окисления липидов мембран, нарушается работа всех ферментных систем, ассоциированных с мембраной. [Аюшинова, с.22]

Антиоксидант (АО) это любое вещество, которое, присутствуя в низких по сравнению с окисляемым субстратом концентрациях, существенно задерживает или ингибирует его окисление. Можно также сказать, что АО — это молекулы, которые способны прерывать (блокировать) реакции свободнорадикального окисления. Выделяют высокомолекулярные и низкомолекулярные АО. Роль ферментов (высокомолекулярные АО) в антиоксидантной системе заключается в ингибировании зарождения цепей окисления путем удаления супероксидного радикала и перекисных продуктов. Действие низкомолекулярных АО направлено на ограничение дальнейшего развития цепных реакций, при этом они часто выступают в качестве антирадикальных агентов. К высокомолекулярным АО относятся супероксиддисмутаза (СОД), различные пероксидазы, каталаза и другие ферменты, для которых характерна элиминация (исключение, уничтожение, ограничение) строго определенного окислительного субстрата. Ферментные АО обладают также специфичностью клеточной и органной локализации, что зачастую перекрывается комплементарным образом. Наиболее типичными представителями низкомолекулярных антиоксидантов являются токоферолы, аскорбиновая кислота, глю-

татион, каротиноиды, фенольные соединения, некоторые аминокислоты и полиамины. [Загоскина, с. 26–34]

1.8. Биохимические изменения растений в ответ на действия поллютантов

В клетках растений и животных эффективно действуют соединения и ферменты антиоксидантной системы, с помощью которых АФК уничтожаются без образования каких-либо других токсичных соединений. Гидроксилрадикал очень реакционноспособен, и бороться с ним, по-видимому, невозможно, поэтому системы антиоксидантной защиты нейтрализуют и обезоруживают более ранние формы АФК – синглетный кислород, супероксидрадикал и перекись водорода. К высокомолекулярным соединениям – антиоксидантам относят ферменты: каталаза, супероксиддисмутаза, аскорбат- и глутатионпероксидазы, глутатионредуктаза, глутатионтрансферазы, алкилгидропероксидредуктазы. Важнейшими низкомолекулярными соединениями – антиоксидантами являются каротиноиды, флавоноиды, аскорбиновая кислота, восстановленный глутатион, α -токоферол, полиамины, пролин и др. аминокислоты. [Попков, с.54]

1.8.1. Пигментный аппарат

Фотосинтетические пигменты (хлорофиллы и каротиноиды) являются основными компонентами фотосинтетического аппарата зеленых растений, и изменение их содержания служит чувствительным маркером нарушений метаболизма растительной клетки в целом. [Головко, с. 671-680]

Критериями функционального состояния травянистых растений в городской среде являются состояние растительного организма, очень чувствительного к внешним воздействиям: содержание пигментов, изменения анатомической структуры листового аппарата. С другой стороны, ассимиляционная активность растений является первичным метаболическим процессом, эффективность которого определяет ростовые и репродуктивные процессы. Разумеется, фотосинтетические структуры и процессы являются показателями общего состояния растительного организма. [Бухарина, с. 20]

Некрозы, уменьшение прироста, усыхание являются следствием нарушения комплекса физиологических процессов. Поступление газообразных токсикантов в листовую ткань сопровождается снижением буферной емкости. Превышение предельно допустимых значений концентрации токсиканта, и продолжительности его действия сопровождается переходом процессов жизнедеятельности на другой уровень. Чрезвычайно сложной является ответная реакция фотосинтеза. Ряд исследователей отмечают, что в зависимости от условий (вид, состояние, экзогенные факторы растительного организма, токсикант, его концентрация, время действия и др.) наблюдается отличная друг от друга ответная реакция. В целом, обобщая, можно выделить трехфазный характер ответной реакции фотосинтеза: вначале проявляется его небольшое угнетение, затем - значительная активация, которая сменяется вновь глубоким подавлением. [Павлов, с.315-320]

Первым звеном на биохимическом уровне, на которое воздействуют токсиканты, являются хлоропласты. Накопление токсических газов в них ведет к их деструкции и распаду пигментов. Изменения в содержании пигментов, в частности, хлорофиллов, часто используется в качестве индикаторной реакции повреждения, происходящего под действием загрязняющих воздух веществ. Изучается как их валовое содержание, так и отношение хлорофилла "а" к хлорофиллу "в". Пониженное отношение хлорофилла а/в является типичным при хроническом загрязнении. При этом ученые отмечают большую устойчивость хлорофилла "в", что согласуется с отмеченной его большей устойчивостью к неблагоприятным факторам окружающей среды. Однако в некоторых случаях обнаружено увеличение отношения хлорофилла "а" к "в" после воздействия загрязняющих атмосферу веществ за счет большей устойчивости хлорофилла "а". [Павлов, с.315-320]

Под действием отработанных газов количество хлорофилла "а" и каротиноидов уменьшается. Воздействие на хлорофилл "в" более слабое, а в ряде случаев наблюдается его рост. В результате значительно меняется соотношение между пигментами. Самое сильное влияние на количество хлоро-

филла и каротиноидов оказывает смесь газов. При этом количество хлорофилла "а" и каротиноидов меняется в среднем от 45 до 55 %, а хлорофилла "в" - от 15 до 35 %. При воздействии каждого из газов по отдельности самые большие отклонения в количестве пигментов получаются при воздействии двуокиси серы. [Борисова, 40 с.]

1.8.2. Каротиноиды

Каротиноиды являются звеном антиоксидантной системы растений. Каротиноиды благодаря наличию сопряженных двойных связей, могут связывать синглетный кислород и ингибируют образование свободных радикалов, предупреждая их негативное действие на организм. Они обеспечивают защиту от ультрафиолетового излучения, так как могут трансформировать энергию УФ-света в видимый свет, что проявляется в явлении флуоресценции; выступают в роли антиоксидантов, защищая чувствительные ткани и лабильные соединения от окисления. Каротиноиды снимают избыток энергии у возбужденного хлорофилла или синглетного кислорода и рассеивают ее через процесс нерадиационной релаксации в виде тепла. Таким образом, может быть предотвращен окислительный стресс. Они так же могут переносить электроны с радикала и модифицировать его структуру, предотвращая дальнейшее развитие цепной реакции. [Половинкина. с.62]

Кроме хлорофиллов в фотосинтетических мембранах всегда присутствуют желтые пигменты – каротиноиды. Каротиноиды – большая разнообразная группа желтых, оранжевых, красных пигментов, поглощающих коротковолновую часть видимой части спектра (400 - 550 нм) и выполняющих ряд очень важных функций в фотосинтезе. По своей химической природе каротиноиды представляют собой полиизопреноиновую цепь, состоящую из 40 атомов углерода, которая у большинства каротиноидов замыкается по концам в два ионовых конца. Центральная часть молекулы, состоящая из 18 атомов углерода, представляет собой систему сопряженных связей, образуя основную хромофорную группу молекулы пигмента. В зависимости от содержания кислорода в молекуле каротиноида различают каротины, не содержа-

щие кислорода, и ксантофиллы – содержащие кислород в форме гидроксигруппы или эпокси – группы. У высших растений важными представителями ксантофиллов являются лютеин, виолоксантин, зеаксантин и неоксантин. Каротиноиды имеют разные изомерные формы (цис- и транс-изомеры). Основная часть каротиноидов светособирающего комплекса представлена транс-конфигурацией. Каротиноиды выполняют немаловажные функции в процессе фотосинтеза: антенную (поглощают солнечную энергию), защитную (тушат триплетный хлорофилл и синглетный кислород), фотопротекторную (предохраняют реакционный центр от мощных потоков энергии при высоких интенсивностях света и стабилизируют липидную фазу тилакоидных мембран, защищая ее от перекисления).

Каротиноиды обладают высокой неспецифической реакционной способностью и сродством к соединениям с неспаренным электроном – свободным радикалам (Капитанов, Пименов, 1996). Каротиноиды относятся к липофильным антиокислителям, которые наиболее эффективны в тушении избыточной энергии триплетных хлорофиллов и синглетного кислорода. Воспринимая энергию возбуждения, они рассеивают ее в виде тепла, предотвращая тем самым возможность образования синглетного кислорода. Действие каротиноидов настолько эффективно, что практически любое столкновение возбужденного пигмента с триплетами или $1O_2$ приводит к их полной дезактивации. Под влиянием химического загрязнения может происходить возрастание уровня каротиноидов, так в условиях городской среды растения содержат большее количество каротиноидов. Повышение содержания каротиноидов в листьях происходит при понижении температуры и увеличении влажности окружающей среды. Снижение содержания каротиноидов вызывает загрязнение почв нефтепродуктами, солевой стресс [Аюшинова, с.55].

1.8.3. Каталаза

Каталаза представляет собой гемовый фермент, состоящий из четырех субъединиц с общей молекулярной массой около 240 кД. Это металлопротеин с гемовым железом в активном центре. Обнаружено 5 изоформ каталаз.

Необходимы достаточно высокие концентрации H_2O_2 для проявления каталитической функции фермента, имеющего невысокое сродство к субстрату и использующего в качестве донора электрона при восстановлении H_2O_2 до воды и молекулярного кислорода вторую молекулу пероксида. Каталаза может разложить 44000 молекул H_2O_2 в секунду. [Половинкина. с.62]

Для выявления загрязнения городской среды могут использоваться методы определения активности окислительных ферментов: пероксидазы, полифенолаксидазы, каталазы и др. Каталаза относится к классу ферментов – оксиредуктаз, – это двухкомпонентный фермент, состоящий из белка (апофермент) и соединенной с ним простетической группы (кофермент); последняя содержит гематин, в состав которого входит железо [Кретович, с.445]. Под действием каталазы происходит разложение перекиси водорода, накапливаемой в процессе дыхания, на воду и молекулярный кислород. Наиболее активна каталаза в молодых жизнеспособных тканях и органах растений. С возрастом тканей, а также при снижении их жизнеспособности, активность этого фермента закономерно снижается. Изменение качества и активности окислительно-восстановительных ферментов каталазы и пероксидазы может служить определенным показателем реакции растительного организма к неблагоприятным факторам окружающей среды и для оценки приспособления растений к условиям существования. [Экологическая оценка городской среды, с.96]

Каталаза и пероксидаза утилизируют перекись водорода и тем самым являются передовой линией защиты от токсического действия АФК. Они сводят концентрацию супероксид аниона и пероксида водорода в клетке до минимума и не позволяют им реагировать с образованием гидроксильного аниона. Одна молекула каталазы способна вызвать разрушение 6×10^6 молекул H_2O_2 в секунду. Однако каталаза имеет низкое сродство к перекиси водорода, из-за этого начинает функционировать только при высоком ее содержании в клетке. Различными исследователями проводилось изучение влияния тяжелых металлов на активность каталазы в растениях, в том числе с ис-

пользованием промышленных сточных вод, что доказало эффективность применения каталазы в качестве индикатора неблагоприятных условий среды. Кроме того, проводилось исследование влияния засоления почвы на активность каталазы в растениях. Большое значение функционирования каталазы в адаптации к условиям окружающей среды было выявлено при воздействии Pb^{2+} и Cd^{2+} на *Solanum lycopersicum*: активность каталазы росла, несмотря на снижающуюся экспрессию соответствующих генов. [Петухов, с.26]

1.8.4. Фенолы и флавоноиды

Фенольные соединения являются уникальными природными метаболитами, которые синтезируются практически во всех растительных клетках, обладают высоким биологически активным действием и находят все большее применение в фармакологии, медицине и пищевой промышленности. Эти соединения характеризуется наличием в молекуле, по меньшей мере, одного ароматического (бензольного) кольца, содержащего одну или несколько гидроксильных групп. У высших растений фенольные соединения локализуются преимущественно в поверхностных структурах, наиболее подверженных воздействию неблагоприятных факторов, включающих кутикулу, эпидермис и его производные (волоски и трихомы). Внутри клетки фенольные соединения накапливаются преимущественно в вакуолях, где их локальная концентрация достигает весьма высоких значений. [Креславский с. 163–178].

Воздействие на растения различных стрессовых факторов, в том числе техногенное загрязнение, вызывает усиление синтеза фенольных соединений. Накопление фенолов является механизмом защиты от обширного окислительного повреждения фотосинтетического аппарата в неблагоприятных условиях. [Артемкина, с.23]

Одним из самых важных свойств фенольных и полифенольных соединений это их участие в окислительно-восстановительных реакциях и в процессах нейтрализации активных форм кислорода. [Костюк, с. 24]

Несмотря на активное использование фенольных соединений как антиоксидантов, механизмы их действия *in vitro* и *in vivo* все еще остаются не совсем выясненными [Сажина, с. 68]. К настоящему времени зависимость между антиоксидантной активностью фенольных соединений, их химической структурой и суммарным содержанием в растениях не до конца изучена. Это связано, с одной стороны, существованием большого числа природных производных этих соединений и многообразием их окислительных форм, с другой – со сложностью составов экстрактов, из которых эти соединения выделяют. [Масленников, с.79-80]

Наиболее обширной группой фенольных соединений являются флавоноиды (бензо- γ -пираны). Из-за своей широкой распространенности и большой значимости для растений флавоноиды выделены в особый раздел классификации и подразделяются на несколько классов.

Флавоноидами называется группа природных биологически активных соединений - производных бензо- γ -пирона, в основе которых лежит фенолпропановый скелет, состоящий из C6-C3-C6 углеродных единиц. Это гетероциклические соединения с атомом кислорода в кольце.

Флавоноиды являются наиболее обширной группой фенольных соединений и важной составной частью растительного организма. Среди веществ вторичного синтеза флавоноиды занимают особое место. Они принимают активное участие в окислительно-восстановительных процессах в растениях, являются необходимыми компонентами дыхательной пероксидазной системы растений, играют роль поглотителей ультрафиолетовых лучей, предохраняя тем самым хлорофилл и плазму. [Немерешина, с.123-124]

Любой абиотический стресс вызывает гиперпродукцию H_2O_2 в хлоропластах, митохондриях и пероксисомах растительной клетки наряду с высвобождением указанными органеллами пероксидазы и каталазы. Значительные количества H_2O_2 диффундируют в вакуоли, где локализуются флавоноиды, которые способны эффективно обезвреживать H_2O_2 и другие активные формы кислорода. Их защитная функция осуществляется также путем образова-

ния барьеров на пути инфекции или механических повреждений (дубильные вещества, лигнины) и присущей многим из них антибиотической активности. Протекторный эффект фенольных соединений, возможно, обусловлен антиоксидантными свойствами этих соединений. [Сигнальная роль активных форм кислорода при стрессе у растений, с. 163–178]

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

2.1. Характеристика объектов исследования

Объектами исследования были выбраны овёс посевной и редис.

Овёс посевной, или овёс кормовой, или овёс обыкновенный — однолетнее травянистое растение. Отдел: Цветковые (*Magnoliophyta*), класс: Однодольные (*Liliopsida*), порядок: Злакоцветные (*Poales*), семейство: Злаки (*Gramíneae*), род: Овёс (*Avéna*), вид: Овёс посевной (*Avena sativa* L.).

Растения рода *Avena* имеют раскидистую или сжатую метелку, 2-3-цветковые или многоцветковые колоски. Колосковые чешуи перепончатые, как правило, длиннее цветковых или равны им. Остистые формы имеют в основном ости коленчато-изогнутые и скрученные в нижнем колене, отходящие не от верхушки, а от спинки цветковой чешуи. Зерновка покрыта по всей поверхности мягкими прижатыми волосками.

Масса 1000 штук семян — 27-46 г, пленчатость зерна — 22-30%. Зерно удлиненное, суженное, заостренное к верхушке, с хохолком и бороздкой, нежно-волосистое по поверхности. Окраска пленчатых форм — белая, желтая, коричневая; у голозерных — светло-желтая. Самоопыляющаяся культура.

Корневая система мочковатая, хорошо развита. Стебель — полая соломина, высотой 70-100 см. Язычок развит хорошо, по верхнему краю зубчатый. Ушки отсутствуют.

Овёс представлен более 70 видами, среди которых имеются многолетние и однолетние, культурные и дикие формы, только 11 видов из которых имеют практическое значение.

Овес менее требователен к почве, чем другие ранние яровые зерновые культуры благодаря развитой корневой системе с высокой усвояющей способностью. Корни овса проникают на глубину до 120 см и распространяются в ширину до 80 см. Корневая система обладает способностью извлекать питательные вещества их труднодоступных соединений. [Растениеводство, с.512]

Редис относится к отделу Цветковые (*Magnoliophyta*), класс: Двудольные (*Magnoliópsida*), порядок: Капустоцветные (*Brassicales*), семейство: Капустные (*Brassicáceae*), род: Редька (*Raphanus*), вид: Редис (*Raphanus sativus*).

Листья редиса простые, черешковые, могут быть цельными или лировидно-рассеченными, опушены жесткими волосками и собраны в розетку. Длина листьев от 5 до 20-25 см. Цвет листьев – от светло-салатового до насыщенно-зеленого. Корневая система редиса стержневого типа.

После формирования и созревания корнеплода, в первый год вегетации, в центре листовой розетки редиса начинает формироваться стебель. Для своего развития, а также для формирования цветов и плодов стебель потребляет питательные вещества, накопленные в сочном корнеплоде. Стебель редьки ветвистый, закругленный в поперечном сечении, с довольно рыхлым ядром в центральной части. Часто ядро полностью разрушается, а стебель внутри полый. Стебель редьки может достигать высоты 20 см - 1 метр.

Цветки редиса собраны в соцветия в форме кисти и могут иметь белый, розоватый или фиолетовый оттенок. Диаметр цветков достигает 1,5 см. После цветения, которое длится 30-35 дней, образуются плоды-стручки длиной от 2,5 до 7,5 см, в каждом из которых содержится от 6 до 10-12 круглых семян светло-коричневого цвета.

Корнеплод редиса от 1,5-2 до 7-10 см в диаметре, может быть островатым на вкус за счет содержания горчичного масла или же сочным и почти не иметь горечи. Мякоть редиса белоснежно-белая, бело-розовая или розовая. Корнеплод имеет округлую, овально-цилиндрическую или удлиненную конусовидную форму, как у морковки.

Окраска корнеплода редиса бывает красной, розовой, желтой, белой, фиолетовой или зеленой. Также есть сорта, корнеплоды которых на фоне общей розовой и красной окраски имеют белый кончик. Средний вес корнеплода редиса (в зависимости от сорта) составляет от 5 до 35 г, хотя встреча-

ются экземпляры-гиганты весом до 100 г, например, у сорта Красный великан. [Комарницкий, с.45]

2.2. Характеристика районов исследования

Были выбраны 4 района, расположенные в одной части города, с одинаковыми условиями рельефа, характером и типом застройки и степенью автотранспортной нагрузки.

Район 1 был выбран в качестве контроля. Расположен на 19 км. Червишевского тракта, территория санатория Сибирь. Участок расположен за городом, где запрещен проезд автотранспорта, рядом нет автобусных остановок.

Район 2 расположен вдоль Старого Тобольского тракта. Рядом с участком сбора расположен Тюменский нефтеперерабатывающий завод.

Район 3 расположен также вдоль Старого Тобольского тракта. Рядом расположен Тюменский металлургический завод.

Район 4 расположен между Нефтеперерабатывающим заводом и металлургическим заводом на Старом Тобольском тракте.

В таблице 2 представлено содержание тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb) из районов исследования. В примечаниях приведены данные предельно-допустимых концентраций. Как видно, все значения не превышают ПДК. Данные были получены в лаборатории Экологических исследований института Химии В ТюмГУ.

Содержание тяжелых металлов в почве

Точка отбора проб	Содержание металла (мг/кг)		
	Медь (кисл)	Цинк (кисл)	Свинец(кисл)
Контроль	5,93	16,46	7,33
НПЗ	6,66	19,19	7,28
Металлургический завод	10,81	36,68	7,61
Автотрасса	3,68	15,60	7,23

Примечание: ПДК(медь) 55 мг/кг, ПДК (цинк) 100 мг/кг, ПДК (свинец) 30 мг/кг

2.3. Сбор растительного сырья и подготовка материала

В районах исследования 1,2,3,4 брали пробу почвы не глубже 10 см. Для того, чтобы взять образцы почвы использовался метод конверта. Он заключается в том, что на каждом из участков по диагонали или по «конверту» (четыре точки по углам и одна в центре) в его пяти точках отбирают пробы. Далее из почвы удалялись посторонние предметы (ветки, трава). Потом пробы с каждого участка совмещали и тщательно перемешивали

В районах исследования 1,2,3,4 также собирали надземную массу растений (клевер и мать-и-мачеха) в августе. Сразу после сбора проводили сушку, так как в растениях содержится большое количество влаги. Для сушки растительное сырье рассыпали тонким слоем, чтобы оно сохло быстрее и не согревалось, его чаще переворачивали.

Почву распределили по контейнерам. В собранные образцы почвы были посажены растения – редис и овес посевной. На 1 опытный участок было высажено по 100 семян редиса и 100 семян овса, которые были распределены по 3 контейнера по 33 штуки в каждом. После посадки семена были политы чистой отстоянной водой и поставлены на подоконник, чтобы было достаточно света.

На 3-й день прорастания редиса и овса производился подсчет количества проросших семян, и определялась энергия прорастания. На 5 и 10 день определялась всхожесть семян. После 10 дня прорастания растения были изъяты из почвы. Растения аккуратно промывались от почвы, чтобы не повредить корни и листья. После этого их просушили и заморозили для дальнейшего определения биохимических показателей (пигменты, каталаза, фенолы, флавоноиды, шиффовые основания и диеновые конъюгаты)

2.4. Определение активности каталазы колориметрическим методом

[Королюк. с. 16]

Экстракт приготовили путём гомогенизации 0,8 г растительного сырья (замороженные листья и стебли) с небольшим количеством дистиллированной воды. Затем полученную массу перенесли в мерную колбу на 25 мл и довели до метки дистиллированной водой. Экстракт немедленно отфильтровали и использовали для исследования.

Активность каталазы определяли колориметрическим методом. Принцип метода основан на способности пероксида водорода образовывать с солями молибдена стойкий окрашенный комплекс. В опыте использовали холостую, контрольную и опытную пробы. В каждую пробу внесли 1 мл трис-HCL буфера pH=7,8, в холостую и опытные по 2 мл пероксида водорода, а в контрольную 2 мл дистиллированной воды. В контрольную и опытные пробы затем прибавили по 0,1 мл экстракта растительного сырья. Реакцию остановили через 10 минут добавлением 1 мл 4%-ного раствора молибдата аммония во все пробирки, после этого в холостую пробу прилили 0,1 мл экстракта. Интенсивность окраски в каждой пробе измерили на КФК-3 при длине волны 410 нм против контрольной пробы. Активность каталазы рассчитали по формуле (1) [Королюк. с. 16]:

$$E=(A_{\text{хол}} - A_{\text{оп}})*V*t*K, \quad (2-1)$$

Где E – активность каталазы (мкат/мл)

A холл и A оп – экстинкция холостой и опытной проб,

V – (0,1 мл) объем вносимой пробы; t – время инкубации,

К – коэффициент миллимолярной экстинкции H_2O_2 ($22,2 * 10^{-3} \text{ММ}^{-1} * \text{СМ}^{-1}$)

2.4. Определение количества фенольных соединений в листьях [Федорова, с. 228]

Навеску в 4-10 г свежего растертого в ступке растительного материала нагрели в стаканчике на 100 мл с 40 мл дистиллированной воды в течение 15 мин на кипящей водяной бане при интенсивном перемешивании. Экстракт охладили, отфильтровали и довели до метки в колбе. Часть полученного экстракта (10 мл) перенесли в фарфоровую чашку объемом 1000 мл, добавили 750 мл дистиллированной воды и 25 мл раствора индигокармина. Смесь титровали 0,1 н раствором KMgO_4 (3,16 г KMgO_4 в 1 л воды) при энергичном перемешивании. Окончание титрования умножили на пересчетный коэффициент для перевода миллилитров 0,1 н KMgO_4 в миллиграммы фенольных соединений, содержащихся в 10 мл взятого на титрование экстракта. Для большей точности параллельно провели контрольное титрование, в котором 10 мл экстракта заменили 10 мл дистиллированной воды и полученное значение вычли из основного определения. [Федорова, с. 228]

2.5. Методика определения концентрации пигментов фотосинтеза в листьях [Шульгин, 127 с.]

Для определения концентрации пигментов фотосинтеза навеску примерно по 100 мг зеленой части каждого растения растерли в фарфоровой ступке с добавлением безводного сульфата натрия Na_2SO_4 до образования однообразного зеленоватого порошка. В ступку прилили 8 мл 96% этилового спирта. В надосадочной жидкости определили концентрацию пигментов фотосинтеза на спектрофотометре КФК-3. Показатели снимали при длине волны 662, 644, 440 нм.

Концентрацию хлорофиллов А, В и каротиноидов рассчитывали по формуле (2,3,4)

$$C_a = 9,78 * D_{662} - 0,99 * D_{644}; \quad (2-2)$$

$$C_B = 21,43 * D_{644} - 4,65 * D_{662}; \quad (2-3)$$

$$C_K = 4,7 * D_{440} - (1,38 * D_{662} - 5,48 * D_{644}); \quad (2-4)$$

Где, Д - оптическая плотность при данной длине волны,

С – концентрация хлорофилла или каротиноидов.

Исходя из найденных концентраций, рассчитали содержание пигментов фотосинтеза в мг на 100 г навески по формуле (2-5)

$$X = (0,1 * C * A) / П, \quad (2-5)$$

Где С – концентрация пигмента,

А – объем исследуемого экстракта,

П – масса навески,

0,1 – коэффициент пересчета волны.

2.6. Метод статистической обработки результатов [Лакин, с.352]

Для характеристики и оценки морфометрических и биохимических данных необходимо сравнение цифровых величин, получаемых при исследовании, с величинами, свойственными нормальному организму. Это сравнение позволяет решить вопрос: протекает данный процесс нормально или имеет отклонение от его обычного течения. Получаемые величины всегда имеют разброс параметров, поэтому после проведения эксперимента встает задача – на базе полученных числовых данных сделать обоснованные, надежные выводы относительно исследованного процесса в целом.

Полученные результаты были подвергнуты статистической обработке на ЭВМ Pentium IV с использованием таблиц Microsoft Excel. В ходе исследования определяли следующие параметры:

- а) среднюю арифметическую – М;
- б) ошибку средней арифметической – m.

О достоверности различий судили по t-критерию Стьюдента с определением уровня значимости Р по таблицам. Достоверными считали различия при уровне значимости $P < 0,05$ [Лакин, с.352]

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования проращивали семена овса и редиса. Оценивали изменение всхожести семян и морфометрических показателей на 10 день исследования в пробах почвы из районов исследования.

Анализировали всхожесть овса в почве с загрязненных мест в сравнении с контролем на 3,5,10 день наблюдения (рис.1, табл.1). Всхожесть овса на 5 и 10 день наблюдения в районе автотрассы меньше, чем в контроле ($p < 0,05$). В районе металлургического завода всхожесть на 10 день была меньше, чем в контроле ($p < 0,05$). На 5 и 10 день всхожесть в районе НПЗ была на уровне контроля ($p > 0,05$).

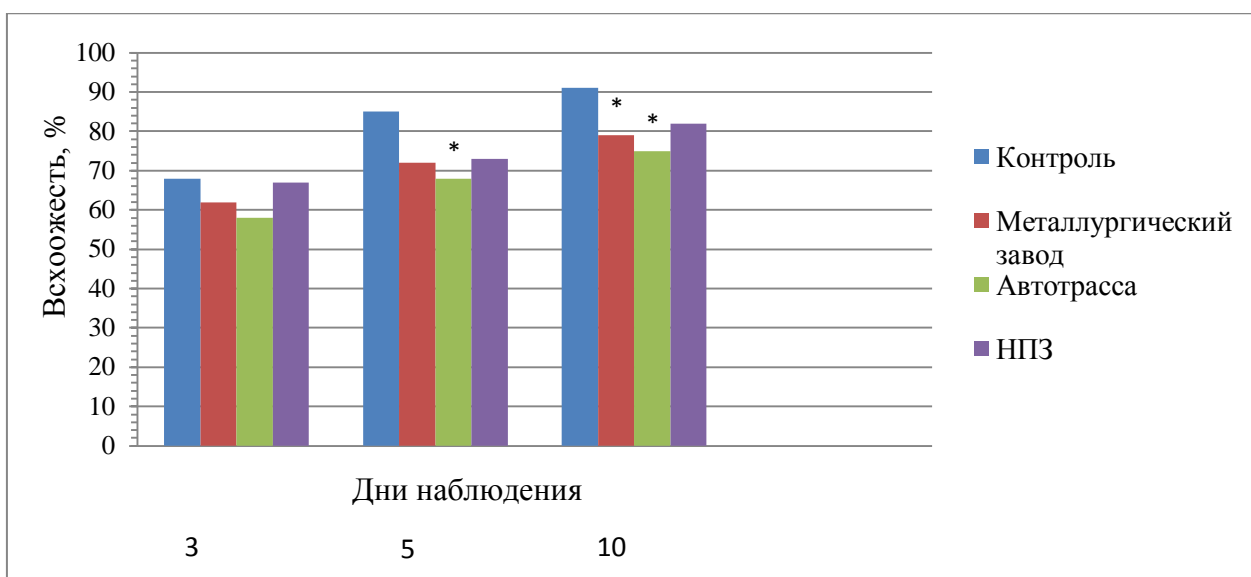


Рис 1. Всхожесть овса, выращенного на почвах из районов исследований

Условные обозначения:* - статистически значимое отличие от контроля ($p < 0,05$).

На рисунке 2 представлена всхожесть редиса в загрязненных местах по сравнению с контролем на 3,5,10 день наблюдения (рис.2, табл.2). Энергия прорастания овса в районах НПЗ, металлургического завода и автотрассы выше, чем в контроле ($p < 0,05$). Всхожесть на 5 и 10 день наблюдения во всех районах находится на уровне контроля. ($p > 0,05$).

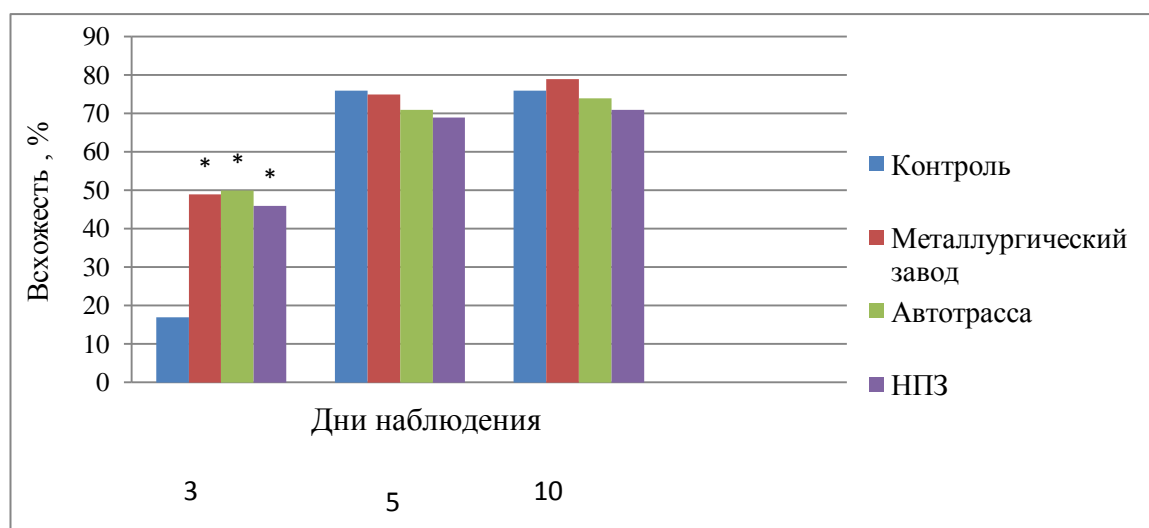


Рис 2. Всхожесть редиса, выращенного на почвах из районов исследований

Условные обозначения: *- статистически значимое отличие от контроля ($p < 0,05$).

Изучение проростков позволило провести морфометрический анализ показателей редиса и овса.

Морфометрический анализ проростков редиса (рис. 3, табл. 3) показал, что в районе металлургического завода и НПЗ все показатели были ниже контроля ($p < 0,05$). В районе автотрассы гипокотиль и длина листа была ниже контроля ($p < 0,05$). Длина корня не отличалась от контроля ($p > 0,05$).

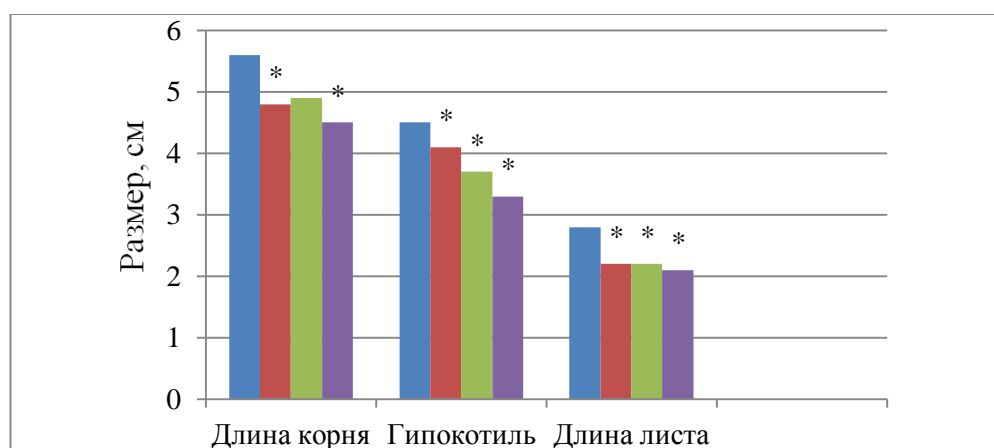


Рис 3. Морфометрические показатели редиса, выращенного на почвах из районов исследований размер, см

Условные обозначения: *-статистически значимое отличие от контроля ($p < 0,05$).

Морфометрический анализ проростков овса (табл. 4, рис. 4) показал, что в районе металлургического завода количество корней больше, чем в контроле ($p < 0,05$). В районе автотрассы гипокотиль меньше, чем в контроле ($p < 0,05$). В районе НПЗ длина листа меньше, в сравнении с контролем ($p < 0,05$). Все остальные показатели находятся на уровне контроля ($p > 0,05$).

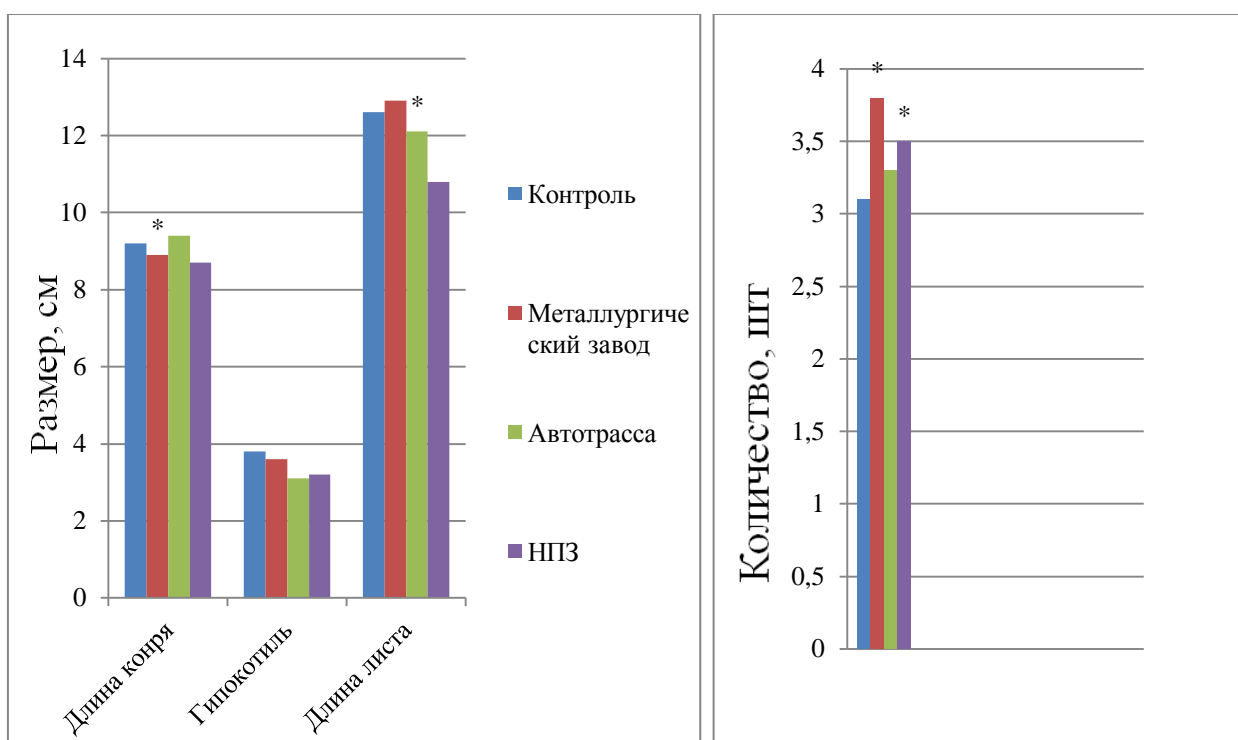


Рис 4. Морфометрические показатели овса, выращенного на почвах из районов исследований

Условные обозначения: * - статистически значимое отличие от контроля ($p < 0,05$).

Проанализировав все показатели проростков овса и редиса можно сказать, что овес менее чувствителен к действию загрязнителей. У овса большинство значений находятся на уровне контроля, в то время как у редиса практически все показатели отличаются от контроля. Значит, овес является менее чувствительным к действию загрязняющих веществ.

Вероятно, изменение показателей связано с действием различных химических веществ. Так как почва для прорастания семян редиса и овса, бра-

лась с мест, где находились промышленные предприятия и вблизи автотрассы. Наиболее значительное влияние оказывают тяжелые металлы. Как утверждаю [Петухова, С.115] наиболее распространенными загрязнителями являются медь и цинк. В превышающих норму концентрациях эти элементы пагубно действуют на растения (подавление роста, нарушение фотосинтеза).

Тяжелые металлы оказывают самое различное пагубное действие на жизнедеятельность растений. Известно, что они подавляют рост растений путем снижения интенсивности клеточных делений, а также нарушением растяжения клеток вследствие связывания металлов с -SH группами белков клеточных стенок. Накопление тяжелых металлов приводит к угнетению развития растений, задержке их фенологических фаз. [Петухов, с.2]

Низкие концентрации токсикантов оказывают стимулирующий эффект на энергию прорастания. Стимулирующий эффект малых доз токсиканта выявлен в ряде исследований [Дмитриева, С. 85] Это можно объяснить тем, что на первых этапах развития растения поступает меньше загрязняющих веществ. У редиса наоборот энергия прорастания возрастает. Известно [Копылова, С.22] о том, что наиболее ингибирующее действие на растения оказывают соли свинца и меди. Они нарушают всхожесть семян.

На следующем этапе исследования определяли содержание пигментов фотосинтеза в проростках овса и редиса (прил. 5, прил. 6, рис. 7,8,9).

Анализ содержания хлорофилла *a* (прил.5, рис.5), как основного пигмента фотосинтеза у растений из загрязненных районов исследования показывает, что у овса содержание пигмента увеличивается во всех районах ($p < 0,05$). У редиса содержание пигмента увеличивается ($p < 0,05$) в районе НПЗ и металлургического завода. В районе автотрассы содержание хлорофилла *a* остается на уровне контроля ($P > 0,05$).

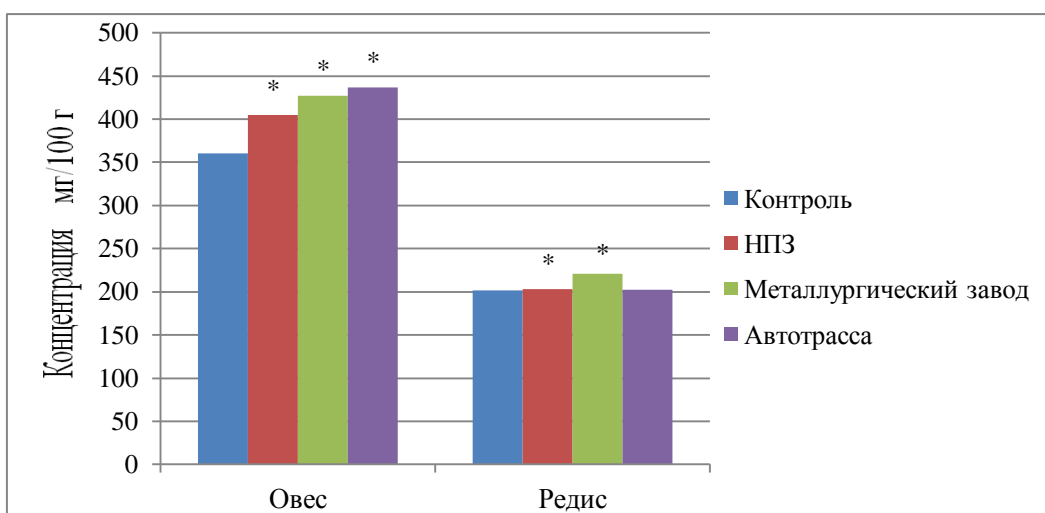


Рис 5. Содержание хлорофилла *a* (мг/100 г) в овсе посевном и редисе из районов исследования

Условные обозначения: * - статистически значимое отличие от контроля ($p < 0,05$).

Анализ содержания хлорофилла *b* (прил.5, рис.6), как вспомогательно-го пигмента фотосинтеза у растений из загрязненных районов исследования показывает, что у овса содержание пигмента увеличивается во всех районах ($p < 0,05$). У редиса содержание пигмента увеличивается ($p < 0,05$) в районе металлургического завода и автотрассы. В районе НПЗ содержание хлорофилла *b* остается на уровне контроля. ($p > 0,05$).

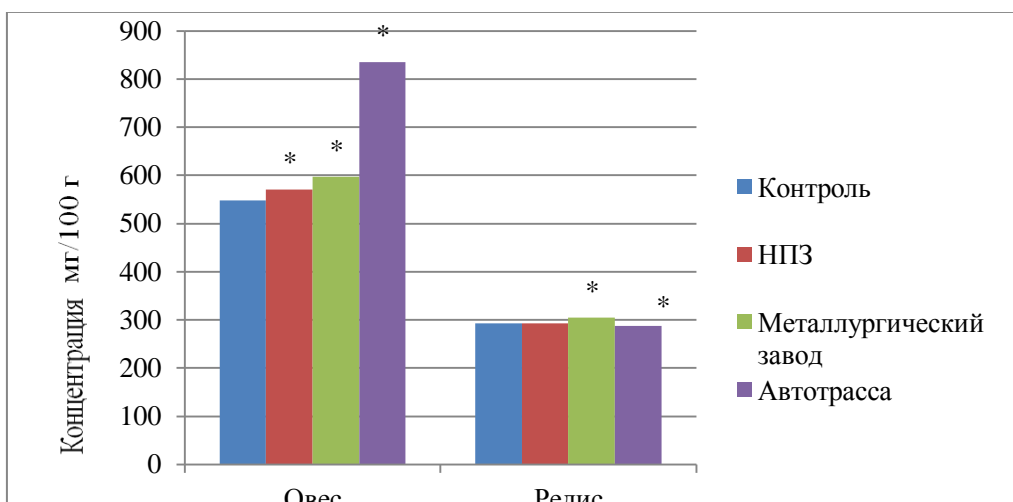


Рис 6. Содержание хлорофилла *b* (мг/100 г) в овсе посевном и редисе из районов исследования

Условные обозначения: * - статистически значимое отличие от контроля ($p < 0,05$).

Анализ содержания каротиноидов (прил.6, рис.7), выполняющих антиоксидантные функции у растений из загрязненных районов исследования показывает, что содержание этого пигмента у овса и редиса увеличивается ($p < 0,05$) во всех районах исследования.

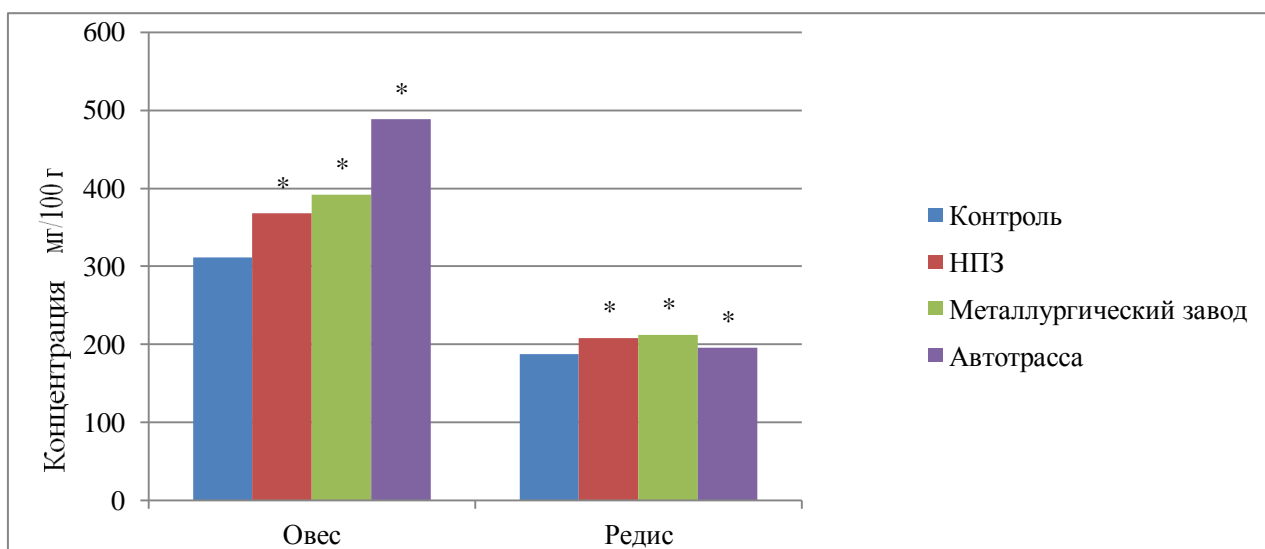


Рис 7. Содержание каротиноидов (мг/100 г) в овсе посевном и редисе из районов исследования

Условные обозначения: * - статистически значимое отличие от контроля ($p < 0,05$).

На рисунке 8 видно, что у овса во всех районах общее количество пигментов фотосинтеза увеличивается ($p < 0,05$). У редиса общее количество пигментов увеличивается ($p < 0,05$) в районе НПЗ и металлургического завода, в районе автотрассы значение находится на уровне контроля ($p > 0,05$).

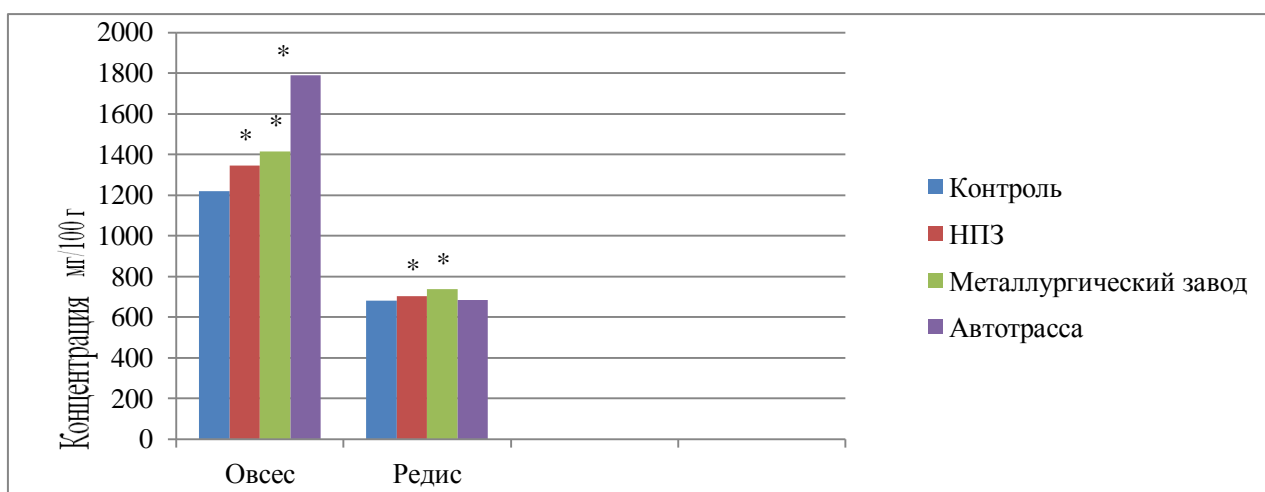


Рис 8. Суммарное содержание пигментов фотосинтеза в растениях из районов исследований.

Условные обозначения: *-статистически значимое отличие от контроля ($p < 0,05$).

На рисунках 5,6,7,8 видно, что содержание пигментов увеличивается в загрязненных районах. Видно, что у овса содержание пигментов выше, чем у редиса. Известно, что содержание хлорофиллов в листьях растений используют как индикатор для определения изменения условий окружающей среды.

Пигментный состав считается информативным и довольно часто используемым параметром, определяющим фотосинтетический аппарат растений. Вариации пигментов приводят к изменению активности фотосинтетического аппарата, скорости накопления ассимилянтов, и по цепи физиолого-биохимических процессов вызывают изменения в росте и продуктивности растений [Николаевский, С. 1-11]. Как утверждают [Сунцова, С.15] суммарное содержание пигментов в условиях городской среды увеличивается в 1,7-1,3 раза. Они объясняют увеличение концентрации хлорофилла в условиях загазованности автомобильным транспортом тем, что активизируется процесс высвобождения зеленых пигментов за счет нарушения мембран под влиянием кислых газообразных соединений. С другой стороны авторы предполагают, то воздействие вредных веществ активизирует синтез зелёных пигментов, тем самым повышая газоустойчивость вида.

В структуре фотосинтетических пигментов первое место занимает хлорофилл b, на долю которого приходится примерно 41% всей массы пигментов. На долю хлорофилла a приходится примерно 27% от всех пигментов. На долю каротиноидов приходится примерно 32% массы пигментов. Из литературы известно, что подавление или стимуляция фотосинтеза является одной из показательных характеристик ответной реакции организма на действие токсиканта, а так же нарушение тонкой структуры хлоропластов. Подобные изменения в плазмемной мембране могут быть причиной сдвигов в фотосинтезе и синтезе пигментов. [Медведев, с. 336]

Вероятно, чем выше процентное содержание хлорофилла a, и суммарное содержание всех пигментов, тем более устойчивым является растений. Отношение хлорофилла a к хлорофиллу b у растений является признаком фотохимической активности листьев, т.е. увеличение соотношения X_a/X_b является признаком высокой потенциальной интенсивности фотосинтеза. Согласно литературным источникам, снижение суммы хлорофилла a и b характерно для неустойчивых и среднеустойчивых видов. У толерантных видов выражено увеличение содержания пигментов, причем количество хлорофилла b может вырасти в 2-3 раза. [Николаевский, с. 1-11].

Следующим показателем, который измерялся, был фермент антиоксидантной системы – каталаза.

Активность каталазы у овса (рис.9, прил. 8) во всех районах исследования находится на уровне контроля, только в районе металлургического завода происходит уменьшение фермента($p<0,05$). У редиса все значения находятся на уровне контроля($p>0,05$).

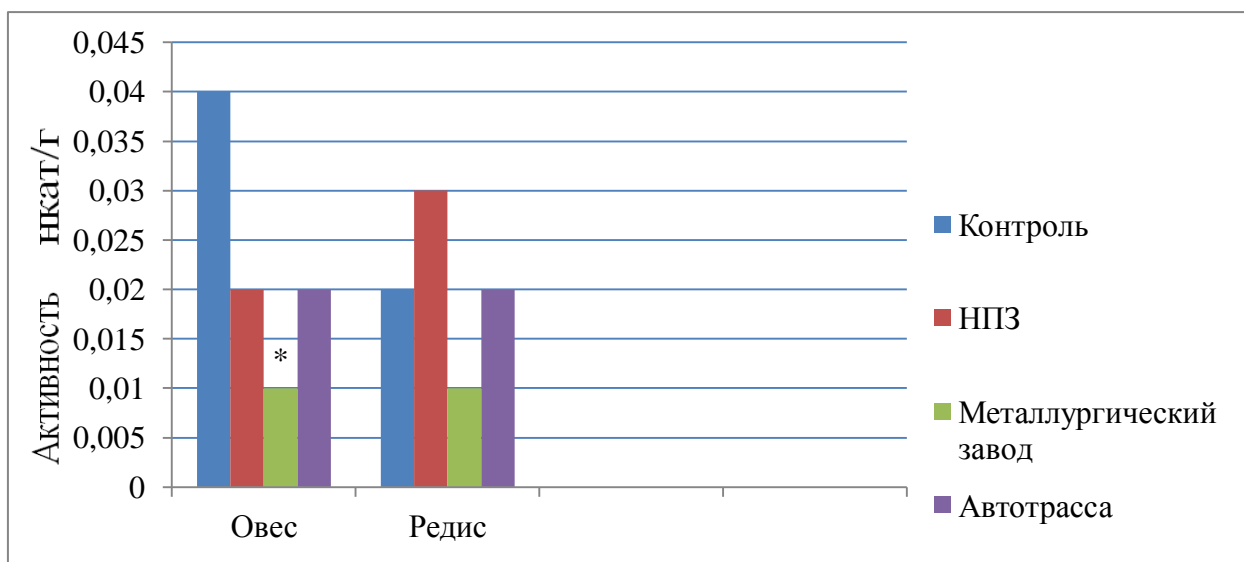


Рис 9. Активность каталазы в клетках овса и редиса из районов исследования

Условные обозначения: * - статистически значимое отличие от контроля ($p < 0,05$).

Под действием каталазы происходит разложение перекиси водорода, накапливаемой в процессе дыхания, на воду и молекулярный кислород. Наиболее активна каталаза в молодых жизнеспособных тканях и органах растений. Изменение качества и активности окислительно-восстановительных ферментов каталазы и пероксидазы может служить определенным показателем реакции растительного организма к неблагоприятным факторам окружающей среды и для оценки приспособления растений к условиям существования. [Алябышева, С.96] Активность каталазы в нашем исследовании практически не изменялась. Каталаза нейтрализует повреждения, которые возникают по действием токсикантов.

Активность растительной каталазы часто рассматривается как показатель загрязнения среды, в которой развивается данное растение. Поэтому измерение активности каталазы является одним из приемов выявления загрязнений в методе фитоиндикации. Так изменение активности каталазы необходимо связывать с различными условиями произрастания растений - в основном с наличием в почве солей тяжёлых металлов. [Исидоров, С. 22]

Следующим ферментом антиоксидантной системы растений определяли, фенолы.

Содержание фенолов у овса (рис. 10) в районе металлургического завода и автотрассы увеличивается в сравнении с контролем ($p < 0,05$). У редиса также содержание фенолов в районе металлургического завода и автотрассы увеличивается в сравнении с контролем ($p < 0,05$). В районе НПЗ у всех растений содержание фенолов остается на уровне контроля ($p > 0,05$).

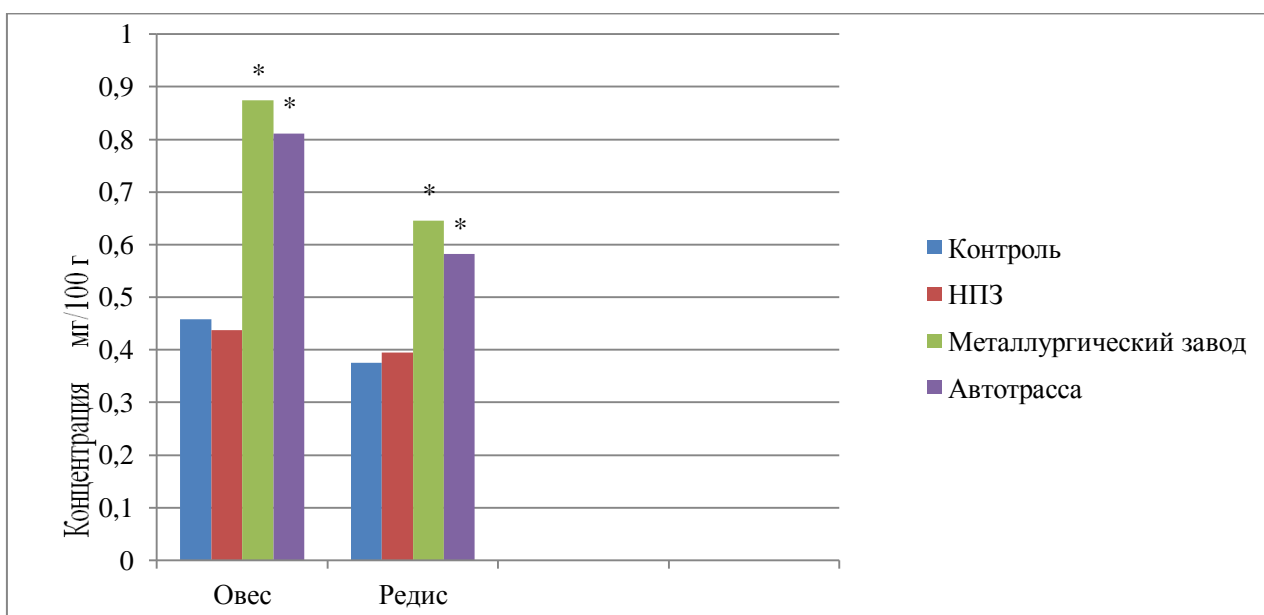


Рис 10. Содержание фенольных соединений в растениях из районов исследования

Условные обозначения: * - статистически значимое отличие от контроля ($p < 0,05$).

Известно, что для защиты от окислительного стресса растениям необходимы антиоксиданты. К антиоксидантам, в том числе, относятся растительные фенолы, а также относящиеся к классу фенольных соединений флавоноиды. Флавоноиды представляют собой гидроксипроизводные флавона с различным количеством $-OH$ -групп. Фенольные соединения содержатся в растениях в виде гликозидов или в свободном состоянии, встречаются почти во всех растениях в количестве от 0.1% до 7%. Фенолы и флавоноиды при-

нимают участие во многих физиологических процессах, в том числе в фотосинтезе, дыхании, росте, защитных реакциях растений. [Петухов, С.94]

Увеличение содержания фенольных соединений [Шавнин, С.175-176] объясняют тем, что активизируется система антиоксидантной защиты. И увеличение фенольных соединений говорит, о том, что накапливается большое количество токсикантов. Как видно из рисунка 11, самые большие концентрации токсикантов сосредоточено в районе металлургического завода и автотрассы как у редиса, так и у овса.

Анализ литературных данных показывает, что основная функция фенольных соединений заключается в защите клеток от негативного влияния факторов среды. Являясь сильными акцепторами, фенольные соединения проявляют антиоксидантное действие: связывают ионы тяжелых металлов в устойчивые комплексы, лишая их каталитического действия; служат акцепторами образующихся при аутооксидации свободных радикалов и поэтому способны гасить свободнорадикальные цепи; хинонные формы фенолов особенно энергично взаимодействуют с белками, могут вызывать их дубление. [Волынец С. 157-158].

Таким образом, проведенные исследования показали высокий уровень ответных реакций растений на антропогенное загрязнение в городе Тюмени.

ВЫВОДЫ

- 1) При действии загрязняющих веществ в исследуемых районах г. Тюмени (нефтеперерабатывающий завод, металлургический завод, автотрасса) как у овса, так и у редиса снижаются всхожесть и морфометрические показатели.
- 2) Содержание пигментов фотосинтеза, обеспечивающих энергетический статус растений, увеличивается у проростков, выращенных в почвах из загрязненных районах.
- 3) В клетках исследуемых растений увеличивается содержание таких антиоксидантных ферментов как фенолы и каротиноиды.
- 4) Проростки редиса являются более чувствительными к действию загрязняющих веществ по сравнению с проростками овса.
- 5) Наибольшее влияние на проростки оказали загрязнители из района металлургического завода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корельский Д.С., Чукаева М.А. Оценка состояния почвенно-растительных комплексов, испытывающих стресс при амотехногенной нагрузке // Записки Горного института. 2013. 174-175 с.
2. Шульц А.Н, Парамонов Е.Г. Техногенное загрязнение атмосферы и видовая смена в фитоценозе // Вестник АГАУ. 2012. 15 с.
3. Неделин Н.А., Чижевская М.В., Фомина Н.В. Биологическая диагностика почвы техногенно-загрязненного ландшафта // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2013. №9. 45 с.
4. Кузнецова И. В. Загрязнение атмосферы города Ишима // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2012. №11. 1-2 с.
5. Баришполец В.А. Анализ глобальных экологических проблем // РЭНСИТ. 2011. №1. 86-87 с.
6. Лысиков А.Б. Особенности техногенного загрязнения лесной почвы // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2013. №35. 35 с.
7. Ляшенко О.А. Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды: учебное пособие / СПб ГТУРП. – СПб., 2012. 5 с.
8. Ивлев, А.М., Дербенцева, А.М. Деградация почв и их рекультивация. – Владивосток: Изд-во ДВГУ, 2003. – 88 с.
9. Иванченко А.А., Костылев И.И., Приходько И.В. Системный подход к предотвращению загрязнения атмосферы транспортом // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2019. №2. 26 с.
10. Парфенова Е. А. Оценка загрязнения почв тяжелыми металлами в результате влияния выбросов автотранспорта // Известия ПГУ им. В.Г. Беллинского. 2011. №25. 20 с.
11. Березина Н.А.. Экология растений: учеб, пособие для студ. высш. учеб, заведений. 2009. 29 с.

12. Уджуху С.Р. Влияние выхлопных газов на лесные экосистемы // Майкопский государственный технологический университет. 2011. 174 – 179 с.
13. Шарнова В.А. Анализ загрязнения воздуха продуктами сгорания от выхлопных газов. 2017. 229 – 233 с.
14. Филин В.А. Видимая среда в городских условиях как экологический фактор. Урбоэкология. М.: Наука, 1990. 45-60 с.
15. Неверова О.А. Биоэкологическая оценка загрязнения атмосферного воздуха по состоянию древесных растений / О.А. Неверова. – Новосибирск: Наука, 2001. – 119 с.
16. Источники загрязнения атмосферы полициклическими ароматическими углеводородами в промышленном. Белых Л. И. [и др.]. // Оптика атмосферы и океана. – 2002. – Т. 15. – № 10. – С. 944 - 948.
17. Петросян В.С. Газовые шлейфы автотранспорта. Природа. — 2001. — №12. 11—16 с.
18. Влияние техногенной среды на жизнедеятельность сельскохозяйственных растений в промышленном регионе. Капранова Г.В. [и др.]. // Universum: химия и биология. 2017. №6. 36 с.
19. Сенкус, В. В. Экологические аспекты природопользования // ЭКО-бюллетень. – 2001. – № 9. – 3 – 7 с.
20. Тарчевсий В.В. Влияние дымо-газовых выделений промышленных предприятий урала на растительность, 1964. 8-9 с.
21. Семчук Н.Н., Андреева М.В. Влияние пылевых выбросов на форму центральной лопасти листа / НовГУ им. Ярослава Мудрого. Великий Новгород, 2005. 291–294 с.
22. Андреева И.И. Ботаника: учебник / 2-е изд., перераб. И доп. – М.: КолосС, 2002. – 448 с.
23. Турмухаметова, Н.В. Оценка состояния *tilia cordata mill.* И состава членистоногих филофагов в условиях городской среды / Марийский государственный университет. – 2016. 233–235 с.

24. Федорова А.И., А.Н. Никольская. Практикум по экологии и охране окружающей среды – М:Владос, 2003. – 276 с.
25. Кравкина И.М. Влияние атмосферных загрязнителей на структуру листа / И. М. Кравкина // Ботанический журнал. – 1991. – Т. 76, № 1. – С. 3-9
26. Павлов И.Н. Древесные растения в условиях техногенного загрязнения – Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2005. – 370 с.
27. Образцова А.С., Фруммин Г.Т. Антропогенное давление на территории крупных городов России / // Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон: матер. междунар. конф. – СПб.: РГГМУ, 2005. –47 с.
28. Видякина А.А., Семенова М.В. Влияние загрязнения воздуха на состояние древесных растений г. Тюмени // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения - 2012. – Т. 2, № 3. – С. 49-50.
29. Бухарина И.Л., Поварницина Т.М., Ведерников К.Е. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде / Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2007. – 216 с.
30. Усманов И.Ю., Рахманкулова З.Ф., Кулагин А.Ю. Экологическая физиология растений: Учебник. – М.: Логос, 2001. – 224 с.
31. Лобанова, Н.В. Проблема вредных выбросов транспорта в атмосферу // Безопасность. Технологии. Управление: науч. доклады и статьи междунар. науч. конф. – Тольятти: 2005. 144–145 с..
32. Чудинова Л.А., Н.В. Орлова Физиология устойчивости растений: учеб. пособие к спецкурсу / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2006. 124 с.
33. Квеситадзе Г.И., Хатисашвили Г.А., Садунишвили Т.А и др. Метаболизм антропогенных токсикантов в высших растениях / под ред. В.О. Попова. М.: Наука, 2005. 199 с.
34. Ложкин В.Н. Загрязнение атмосферы автомобильным транспортом. — СПб., 2001. 201 с.

35. Чикенева И. В., Абузярова Ю. В. Содержание тяжёлых металлов в побочной продукции полевых культур в условиях техногенного воздействия // Известия ОГАУ. – 2011. – № 4. 280–282 с.

36. Пшенин В.Н. Актуальные вопросы оценки загрязнения почвенного покрова вблизи автомагистралей // Экологизация автомобильного транспорта : труды Всероссийского научно-практического семинара. — СПб., 2003. 23 с.

37. Парфенова Е.А., Полянскова Е.А., Шаркова С.Ю. Влияние выбросов автотранспорта на загрязнение серых лесных почв тяжелыми металлами // Молодежь. Наука. Инновации : материалы международной научно-практической конференции. — Пенза, 2013. 13 с.

38. Шилкова О. С., Джанянц А. В., Сарбаев В. И. Загрязнение придорожной полосы тяжелыми металлами // ГИАБ. 2000. 8 с.

39. Никифорова Е.М. Загрязнение природной среды свинцовыми соединениями от выхлопных газов автотранспорта. Вестник Московского Университета. – География, 1975, №3, 28-36 с.

40. С.Л. Давыдова, В.И. Тагасов Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века: Учеб. пособие. - М.: Издво РУДН, 2002. 140 с.

41. Узаков З.З. Тяжелые металлы и их влияние на растения // Символ науки. 2018. №1-2. 23 с.

42. Половинкина Е.О., Сеницына Ю.В. Окислительный стресс и особенности воздействия слабых стрессоров физической природы на перекисный гомеостаз растительной клетки. Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2010. 62 с.

43. Радюкина Наталия Львовна. Функционирование антиоксидантной системы дикорастущих видов растений при кратковременном действии стрессоров, диссертация 2015. 10 – 11 с.

44. Кириллов Ю.И., Кокин Г.А. Физиология растений: Учебное пособие. Курган, издательство «Зауралье», 1998. - 304 с.

45. Изменения роста проростков и содержания низкомолекулярных антиоксидантов после обработки семян пшеницы биофлавоноидами. Загоскина Н.В. [и др.] // Вестник МГПУ. Серия «Естественные науки». 2015. № 2. 26–34 с.
46. Аюшинова Л.С. Ответные реакции растений на действие специфических поллютантов на примере метилфосфоновой кислоты, пирофосфата натрия и фторида натрия, диссертация 55 с.
47. Н.В. Загоскина, Л.В. Назаренко. Активные формы кислорода и антиоксидантная система растений 26–34 с.
48. Маханова Р.С. К вопросу изучения перекисного окисления липидов/ Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2011. – Т. 1, №1. -С.231-234.
49. Попков В. М., Чеснокова Н. П., Ледванов М. Ю. Активация липопероксидации как ведущий патогенетический фактор развития типовых патологических процессов и заболеваний различной этиологии. 2012. 54 с.
50. Головки Т.К., Далькэ, И.В., Бачаров, Д.С. Мезоструктура и активность фотосинтетического аппарата трех видов растений сем. Crassulaceae в холодном климате // Физиология растений. 2008. Т. 55, № 5. 671-680 с.
51. Бухарина И. Л., Кузьмин П. А., Гибадулина И. И. Анализ содержания фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений в условиях городской среды (на примере г. Набережные Челны) // Вестник Удмуртского университета. 20 с.
52. Павлов И.Н. Древесные растения в условиях техногенного загрязнения. 2005. 315-320 с.
53. Борисова Г.Г. Основы биохимии вторичного обмена растений / Изд. Уральского университета. Екатеринбург, 2014. – 40 с.
54. Кретович, В.Л. Биохимия растений / Учебник для биол. фак-тов унтов. – М.: Высшая школа, 1980. 445 с.
55. Экологическая оценка городской среды. Алябышева Е.А. [и др.] Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2013. 96 с.

56. Петухов А.С, Хритохин Н.А., Кремлева Г.А., Петухова Г.А. Активность каталазы травянистых растений в условиях загрязнения городской среды // СНВ. 2019. 26 с.
57. Сигнальная роль активных форм кислорода при стрессе у растений. Креславский, В. Д. [и др.] // Физиология растений. – 2012. – Т. 59. – С. 163–178.
58. Артемкина Н.А. Содержание фенольных соединений в *v. vitis-idaea* L. сосновых лесов Кольского полуострова // Химия растительного сырья. 2010. №3. 23 с.
59. Костюк, В.А. Биорадикалы и биоантиоксиданты. /В.А. Костюк, А.И.Потапович/. Мн.: БГУ, 2004. - 174 с.
60. П. В. Масленников П. В., Г. Н. Чупахина Г. Н., Л. Н. Скрыпник Л. Н. Содержание фенольных соединений в лекарственных растениях ботанического сада. 2013 г. 79-80 с.
61. Немерешина О. Н., Гусев Н. Ф. Влияние техногенного загрязнения на содержание флавоноидов в растениях семейства норичниковых степного Предуралья // Вестник ОГУ. 2004. №10. 123-124 с.
62. Растениеводство. Вавилов П.П. [и др.] 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1986. — 512 с.
63. Комарницкий Н.А. Ботаника. Систематика растений. 7-е изд. - М.: Просвещение, 1975. 45 с.
64. Н.М. Ключникова, С.К. Пятунина Ботаника. Систематика растений.— М. : Издательство Прометей, 2013.— 124 с.
65. Сергиевская, Е.В. Систематика высших растений : Практический курс / Е.В. Сергиевская . – 2-е изд., стереотип . – СПб. : Лань [СПб], 2002. 114 с.
66. Королюк М.А., Иванова Л.И., Майорова Н.О., Токарев В.Е. Метод определения активности каталазы // Лабораторное дело. 1988. 16 с..
67. Федорова, А.И. Практикум по экологии и охране окружающей среды / А.И. Федорова, А.И. Никольская. – М.: ВЛАДОС, 2001. 228 с.

68. Шульгин И. А., Ничипорович А. А. Расчет содержания пигментов с помощью номограмм // Хлорофилл. — Наука и техника Минск, 1974. — 127–138 с.
69. Лакин, Г. Ф. Биометрия : учеб. пособие для биол. спец. вузов – М. : Высшая школа, 1990. – 352 с.
70. Петухов А.С., Петухова Галина Александровна Биохимические механизмы защиты при накоплении тяжелых металлов в организмах // Гигиена и санитария. 2017. №2. 2 с.
71. Петухов А.С., Хридохин Н.А., Петухова Г.А. Влияние тяжелых металлов (Cu, Zn, Fe, Mn, Pb, Cd) на всхожесть и морфометрические показатели овса посевного (*Avena Sativa*) // Международный студенческий научный вестник. – 2018. – № 5. 28 с.
72. Дмитриева В.В. Изменение биохимического статуса некоторых травянистых растений в условиях нефтезагрязнения. / Магистерская дис. Тюмень, 2017.- 85 с.
73. Копылова Л. В. Накопление тяжёлых металлов *Saragana arborescens* Lam. В условиях антропогенного воздействия (Забайкальский край) // Ученые записки ЗабГУ. Серия: Биологические науки. 2017. №1. 22 с.
74. Николаевский В.С. Влияние некоторых факторов городской среды на состояние древесных пород//Лесной вестник, 1998.ю №2. 1-11 с.
75. Сунцова Л.Н., Иншаков Е.М., Донцов А.С. Комплексный анализ хвои ели сибирской в условиях техногенной среды г. Красноярска // ХБЗ. 2014. №1-2. 15 с.
76. Медведев С.С. Физиология растений: Учебник. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2004. - 336 с.
77. Исидоров В. А. Введение в химическую экотоксикологию: учеб. пособие. СПб.: Химиздат, 2000. 22 с.
78. Фенольная система защиты растений в условиях загрязнения среды г. Тюмени тяжелыми металлами. Петухов А. С. [и др.] // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2019. №1. 94 с.

79. Шавнин С.А., Колтунов Е.В., Яковлева М.И. Влияние урбанизации на состав и содержание фенольных соединений в хвое сосны обыкновенной // Научное обозрение. Биологические науки. – 2015. – № 1. 175-176 с.

80. Волынец А.П. Ароматические оксисоединения – продукты и регуляторы фотосинтеза //Биохимия растений - 1983. – Т. 2, №2. – 157-158 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1

Энергия прорастания овса, выращенного на почвах из района исследования

Вариант	Энергия прорастания на 3 день, %	Всхожесть на 5 день, %	Всхожесть на 10 день, %
Контроль	68±4,6	85±3,5	91±2,8
Металлургический завод	62±4,8	72±4,4	79±4,0*
Автотрасса	58±4,9	68±4,6*	75±4,3*
НПЗ	67±4,7	73±4,4	82±3,8

Таблица 2

Энергия прорастания редиса посевного, выращенного на почвах из района исследования

Вариант	Энергия прорастания на 3 день, %	Всхожесть на 5 день, %	Всхожесть на 10 день, %
Контроль	17±3,7	76±4,2	76±4,2
Металлургический завод	49±4,9*	75±4,3	79±4,1
Автотрасса	50±5,0*	71±4,5	74±4,3
НПЗ	46±4,9*	69±4,6	71±4,5

Таблица 3

Морфометрические показатели редиса посевного, выращенного на почвах из района исследования

Вариант	Длина корня, см.	Гипокотиль, см.	Количество листьев, см.	Длина листа, см.
Контроль	5,6±0,31	4,5±0,29	2,0±0,0	2,81±0,13
Металлургический завод	4,8±0,25*	4,1±0,19*	1,9±0,02	2,2±0,13*
Автотрасса	4,9±0,25	3,7±0,23*	2,0±0,02	2,2±0,14*
НПЗ	4,5±0,20*	3,3±0,22*	2,0±0,02	2,1±0,13*

Таблица 4

Морфометрические показатели овса, выращенного на почвах из района исследования

Вариант	Количество Корней, см.	Длина корня, см.	Гипокотиль, см.	Количество Листьев, см.	Длина листа, см.
Контроль	3,1±0,09	9,2±0,22	3,8±,35	1,6±0,05	12,6±0,34
Металлургический Завод	3,8±0,11*	8,9±0,18	3,6±0,10	1,6±0,06	12,9±0,45
Автотрасса	3,3±0,11	9,4±0,27	3,1±0,11*	1,5±0,06	12,1±,48
НПЗ	3,5±0,11*	8,7±0,15	3,2±,11	1,5±0,06	10,8±0,39*

Таблица 5

Содержание хлорофилла *a* и *b* в овсе посевном и редисе из районов исследования

Точка отбора проб	Содержание хлорофилла <i>a</i> (мг/100 г)		Содержание хлорофилла <i>b</i> (мг/100 г)	
	Овес	Редис	Овес	Редис
Контроль	360,06±2,11	201,57±0,41	547,80±0,64	293,00±0,62
НПЗ	404,89±1,40*	203,18±0,43*	571,08±0,69*	292,91±0,93
Металлургический завод	427,11±0,38*	221,26±0,47*	597,07±0,83*	304,15±0,65*
Автотрасса	436,91±1,94*	202,36±0,35	835,54±1,38*	287,68±0,66*

Таблица 6

Содержание каротиноидов в овсе посевном и редисе из районов исследования

Точка отбора проб	Содержание каротиноидов (мг/100 г)	
	Овес	Редис
Контроль	311,74±0,35	187,46±0,32
НПЗ	368,14±0,17*	208,34±0,12*
Металлургический завод	391,61±0,63*	212,34±0,30*
Автотрасса	488,50±0,44*	195,47±0,19*

Таблица 7

Суммарное содержание пигментов фотосинтеза в растениях их районов исследований

Точка отбора проб	Суммарное содержание пигментов (мг/100 г)	
	Овес	Редис
Контроль	1219,60±3,1	682,03±1,35
НПЗ	1344,11±2,26*	704,43±1,48*
Металлургический завод	1415,79±1,84*	737,75±1,42*
Автотрасса	1,760,95±3,76*	685,51±1,20

Таблица 8

Активность каталазы в клетках овса и редиса из районов исследования

Точка отбора проб	Активность каталазы (нкат/г)	
	Овес	Редис
Контроль	0,04±0,01	0,02±0,01
НПЗ	0,02±0,01	0,03±0,01
Металлургический завод	0,01±0,01*	0,01±0,01
Автотрасса	0,02±0,01	0,02±0,1

Таблица 9

Содержание фенолов в овсе и редисе из районов исследования(мг/100г)

Точка отбора проб	Содержание фенолов, мг/100г	
	Овес	Редис
Контроль	0,458±0,04	0,375±0,04
НПЗ	0,437±0,02	0,395±0,02
Металлургический завод	0,874±0,04*	0,645±0,02*
Автотрасса	0,811±0,02*	0,582±0,04*