

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

**БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ  
ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ НЕКОТОРЫХ ВОДОЕМОВ Г. ТЮМЕНИ В  
УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ПРЕССА**

06.04.01 Биология

Магистерская программа «*Экологическая генетика*»

Выполнила работу  
студентка 2 курса  
очной формы обучения

Дресвянкина Ульяна Михайловна

Научный руководитель  
д.б.н, профессор

Петухова Галина Александровна

Рецензент  
к. б. н., доцент каф. экологии и  
рационального природопользования  
Агротехнологического института  
ГАУСЗ

Акатьева Татьяна Григорьевна

Тюмень

2020

## АННОТАЦИЯ

с. 74, табл. 3, рис. 11, библи. 120, прил. 4.

Исследования прибрежных растений проводились в г. Тюмени вблизи водоемов – Сундукуль, Алебашево, Андреевское, Круглое и Оброчное на следующих растениях: клевер ползучий (*Trifolium repens*), подорожник большой (*Plantago major*), осока острая (*Carex acuta*), рогоз широколистный (*Typha latifolia*). По результатам анализа продуктов ПОЛ и антиоксидантной защиты в растениях вблизи исследуемых водоемах была показана ответная реакция на антропогенное загрязнение. Все исследуемые растения оказались чувствительными к действию поллютантов.

Ключевые слова: водный объект, загрязнение окружающей среды, перекисное окисление липидов, каталаза, растения.

Studies of coastal plants were carried out in the city of Tyumen near the water bodies - Sundukul, Alebashevo, Andreevskoye, Krugloye and Obrochnoye on the following plants: *Trifolium repens*, *Plantago major*, *Carex acuta*, *Typha latifolia*. According to the results of the analysis of LPO products and antioxidant protection in plants near the studied water bodies, a response to anthropogenic pollution was shown. All studied plants were sensitive to the action of pollutants.

Key words: waterbody, environmental pollution, lipid peroxidation, catalase, plants.

## СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ .....	4
ВВЕДЕНИЕ .....	5
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ .....	7
1.1. Антропогенное влияние на водоемы г. Тюмени .....	7
1.2. Источники загрязнения водных объектов.....	10
1.3. Признаки повреждения растений под влиянием загрязнения окружающей среды.....	14
1.4. Перекисное окисление липидов у растений .....	21
1.5. Перекисное окисление липидов как маркер загрязненности окружающей среды.....	24
1.6. Антиоксидантная система защиты у растений .....	27
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	33
2.1. Характеристика материала .....	33
2.2. Характеристика районов исследования .....	37
2.3. Методика определения содержания выбросов вредных веществ в выхлопных газах автотранспорта.....	38
2.4. Методика постановки эксперимента .....	38
2.4.1. Определение содержания шиффовых оснований в растительном материале.....	39
2.4.2. Спектрофотометрическое определение содержания диеновых конъюгатов в растениях.....	39
2.4.3. Определение активности каталазы в растениях колориметрическим методом.....	40
2.4. Методы математической обработки.....	41
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ .....	42
ВЫВОДЫ.....	55
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	56
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....	69
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 .....	70
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 .....	71
ПРИЛОЖЕНИЕ 4.....	72

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АФК - активные формы кислорода

ДНК – дезоксирибонуклеиновая кислота

ПДК – предельно допустимая концентрация

ПОЛ – перекисное окисление липидов

РНК - рибонуклеиновая кислота

СПАВ – синтетические поверхностно-активные вещества

## ВВЕДЕНИЕ

Большая часть территорий испытывают интенсивное влияние хозяйственной деятельности человека, которое приводит к нарушению экологического равновесия. Водные объекты относятся к тем элементам природной системы, которые испытывают наибольшую нагрузку в результате воздействия антропогенной деятельности на экосистему [Ильченко, с. 86]. Изменение биотической части в экосистемах ведет к нарушению структурно-функциональной организации водных экосистем, снижению рыбохозяйственной, водохозяйственной и рекреационной ценности водоемов. Это особенно важно для биоценозов урбанизированных территорий [Бобренко, Рослякова, с. 1].

На водные экосистемы в результате антропогенной деятельности воздействуют различные виды загрязнений. К категории техногенных источников, загрязняющих водные объекты, входят предприятия тяжелой и легкой промышленности (металлообработка, нефтепереработка, лесная и деревообрабатывающая промышленность, автомобильный и речной транспорт), а также жилищно-коммунальное хозяйство, которое сбрасывает стоки в водные объекты города [Рязанцева, с. 79-81, Корнилов, с. 1-6, Уманец, с. 191-192]. Данные факторы действуют на окружающую среду на протяжении десятилетий, что привело к повсеместному ухудшению качества воды. Также отмечается отсутствие улучшений качества производства на предприятиях, что приводит к новым проблемам, не имеющим на текущий момент решения [Германова, Керножитская, с. 173-176].

Длительное воздействие промышленных предприятий изменяет состав растительного покрова, почвы и воды. Накопление поллютантов в почве приводит к их аккумуляции в пищевой цепи и попаданию в грунтовые воды [Шестаков, с. 3-4, Берсенева, с. 41, Скипин, Берсенева, с. 71]. Поверхностные воды большей части водоёмов г. Тюмени загрязнены металлами: медью, свинцом, ртутью, марганцем, цинком, мышьяком железом, а также продуктами нефтяной обработки, фенолами, аммонийным

и нитритным азотом, СПАВ и др. [Сравнительная оценка токсичности..., с. 97, Терентьева, с. 51-52, Лапшин, Игнатьева, с. 79-82].

Растения являются индикаторами чистоты среды. Они формируют сложные многокомпонентные системы и имеют приуроченность к определенному субстрату, что позволяет использовать их для регистрации антропогенного воздействия на водные экосистемы [Гузеева, с. 134-136, Фитотестирование при оценке..., с. 92-93]. При воздействии стресс-фактора, которыми являются поллютанты, находящиеся в водоеме, на биохимическом уровне происходят изменения. К таким изменениям относятся окислительные процессы. При повышении активности перекисного окисления липидов (ПОЛ) происходит увеличение синтеза антиоксидантов. Показатели ПОЛ и антиоксидантной системы позволяют оценить степень не только антропогенного воздействия, но и чувствительность растений к действию поллютантов [Bolwell, с. 287-290, Багдасарян, с. 34-35, Абросимова, Трояновская, Меркулова, с. 376-378].

Вышеизложенное свидетельствует об актуальности исследования состояния водных объектов г. Тюмени, находящиеся под длительным отрицательным воздействием деятельности человека.

Цель работы: анализ перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты прибрежных растений г. Тюмени в условиях антропогенного воздействия.

Задачи исследования:

1. Исследовать концентрации продуктов ПОЛ и антиоксидантной защиты прибрежных растений;
2. Провести сравнительный анализ водных объектов по степени их загрязненности;
3. Оценить степень чувствительности прибрежных растений к антропогенному воздействию.

## ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### 1.1. Антропогенное влияние на водоемы г. Тюмени

Водные объекты всегда являлись мишенью для антропогенного воздействия. Под загрязнением водных ресурсов подразумевается изменение физико-химических и биологических свойств воды, которое обусловлено сбрасыванием в них жидких, твердых или газообразных веществ. Эти вещества оказывают негативное влияние на воду, делают ее опасной для использования и наносят ущерб экосистеме, здоровью и безопасности населения. Поллютанты поступают в водоемы в твердом, жидком, коллоидном состоянии, а также в виде эмульсий или газов [Бобренко, Рослякова, с. 1-3, Бубис, с. 226-227].

Поллютанты, попадая в природные водоемы, приводят к качественным изменениям воды, которые в основном проявляются в изменении физических свойств воды (появление неприятных запахов, привкусов и т.п.), в изменении химического состава воды (увеличение содержания сульфатов, хлоридов, нитратов, токсичных тяжелых металлов), в наличии плавающих веществ на поверхности воды. В отсутствие внешних воздействий водные объекты способны достичь динамического равновесия с окружающей средой, что позволяет организмам, живущим в воде, адаптироваться к существующим условиям [Вострикова, Шкода, с. 10-11, Загрязнение водной среды..., с. 54-55].

Основными техногенными источниками, загрязняющими водные объекты города Тюмени, являются: речной и автомобильный транспорт, коммунальное хозяйство, строительные работы, автозаправочные станции, промышленные предприятия, расположенные рядом с водными объектами. В связи с этим поверхностные воды и донные отложения тюменских озер загрязнены нефтепродуктами, тяжелыми металлами, фенолами, аммонийным и нитратным азотом, поверхностно-активными веществами и др. Все эти обстоятельства способствуют нарушению гидрологического,

гидрохимического и гидробиологического режимов водоемов города [Рязанцева, с. 79-81, Корнилов, с. 10-17].

По статистике в г. Тюмени ежегодно сбрасывается 323.37 млн кубометров/год количество сточных вод. В 2019 году в составе сточных вод в водные объекты поступило 20,9 тысяч тонн загрязняющих веществ, что на 16,4% ниже уровня прошлого года. Среди загрязняющих веществ преобладали хлориды и сульфаты (со сбросами термальных и минеральных вод). Также в водные объекты поступило 66,3 тысяч тонн поллютантов (в 2018 году 80,9 тонн), при этом отмечается тенденция к снижению загрязнения [<http://72.rpn.gov.ru/node/20536>].

В почву помимо атмосферной воды попадает вода, находящаяся на территории свалок. Известно, что большая часть мусора подвергается сжиганию. Но до процесса сжигания бытовые отходы находятся на территории свалок, где происходит их естественное разложение. Помимо сточных вод большую роль играют подземные воды. В них содержится вода, которая при нахождении в атмосфере соединилась с частицами пыли, тяжелых металлов и газов, по итогу образуя аэрозоль. При попадании на почву аэрозоль переходит в суспензию, которая, к сожалению, не способна пройти естественную очистку почвой и почвенными организмами [Игошкин, с. 148-150, Гидрогеоэкологические условия полигонов..., с. 53-54].

В отдельных поселках города Тюмени (Московский и Патрушево) техническое состояние канализационной сети не позволяет очищать воду. Процент оснащённости внутренней системой канализации не превышает 30%. Производственные и бытовые сточные воды не разделяются. Дождевые и талые сточные воды не очищаются и удаляются в близлежащие водоемы. На данный момент проблема решается посредством водоотведения сточных вод коммунальной сферы населённых пунктов в единую систему очистки города Тюмени [Схема водоснабжения и..., с. 34-36].



На 2020 год «Росводоканал Тюмень» очищает около 190 тысяч кубометров стоков в сутки. За год очищается примерно 70 млн кубометров сточных вод. На данный момент происходит модернизация объектов цехов очистки сточных вод, что позволит в сутки очищать до 220-260 тысяч кубометров сточных вод, а в год до 95 млн кубометров [<https://vodokanal.info/about/news/21815/>].

В 2017 году было выявлено, что «Росводоканал Тюмень» не использует предусмотренные санитарными правилами гарантированные промышленные методы очистки сточных вод от гельминтов. Вследствие этого в отобранных в рамках проверки пробах воды в реке были обнаружены жизнеспособные яйца гельминтов, являющихся причиной заболевания описторхозом [<https://www.znak.com/2017-07-27/>].

По экологическому индексу загрязненности реку Туру и озера в черте города относят к 3-4-му классу – от загрязненных до грязных. Среди основных причин загрязнения: ненормативная работа очистных сооружений, сброс ливневых стоков и сточных вод предприятий. Свыше 76 % общего объема сброса загрязненных сточных вод приходится на предприятия ЖКХ [Маркин, с. 60-65].

Из всего объема сточных вод, которые должны проходить очистку, только 10% очищается до нормативного качества. За два последних года Управлением Росприроднадзора по Тюменской области было рассмотрено более 100 административных дел, наложено более 2 млн рублей штрафов за сброс сточных вод за пределами норматива и неэффективную работу очистных сооружений, а также предъявлено и взыскано 1,8 млн рублей ущерба.

Также в городе Тюмени и в Тюменской области были выявлены предприятия, которые нарушили водное законодательство при сбросе сточных вод в водные объекты: ООО «Тюмень Водоканал», ОАО «Водоканал» г. Ишим, ОАО «Птицефабрика Боровская», ООО

«Управляющая компания – ТМ», ООО «Стеклотех» и ООО «РН-Уватнефтегаз» [<http://72.rpn.gov.ru/node/20536>].

В г. Тюмени для определения общей экологической обстановки имеет важное значение экологическое состояние нескольких сравнительно больших озер (например, Алебашево, Круглое, Андреевское и др.) и многочисленные небольшие водоемы. Озера Алебашево и Круглое являются пойменными озерами нижнего течения реки Туры. В исследовании Е.А. Исаченко-Боме отмечается нарушение зообентического сообщества, что связано с загрязнением данных водных объектов. Причем, при связи озер с рекой Турой не происходит восстановления зообентоса [Исаченко-Боме, с. 120-130]. В другой научной статье приводились данные о том, что наибольший вред для зообентоса и водорослей представляют тяжелые металлы, нефтепродукты, сульфаты и аммоний. Из тяжелых металлов наиболее выраженным действием на организмы обладают цинк и свинец. При этом отмечается, что концентрация поллютантов выше в озерах Круглое, Кривое и Андреевское и пруду Южном, по сравнению с прудами Березовый, Войновский, Лесной и Садовый [Скипин, Берсенева, с. 71-73].

Приведенные выше факты позволяют понять масштаб отрицательного воздействия человеческой деятельности не только на водные объекты и почву, но и на организмы, живущие в данных биомах.

## 1.2. Источники загрязнения водных объектов

На данный момент главной проблемой экологической безопасности является антропогенная деятельность, а точнее техногенное загрязнение. За последние десятилетия выросли объемы промышленности, что привело к росту экологической нагрузки на экосистемы. Помимо роста промышленности выросла численность населения планеты, что также привело к увеличению количества бытового мусора. При условии роста различных отраслей промышленности происходит увеличение потребления природных ресурсов. Не все природные ресурсы способны к самовосстановлению, но вода относится к неисчерпаемым и

возобновляемым ресурсам [Меркулова, Кравченко, с. 74, Теличенко, Курочкина, с. 80].

Основными источниками загрязнения водных объектов являются: промышленность, жилищно-коммунальное хозяйство, транспорт и бытовой мусор. Каждый из перечисленных источников наносит разный вред экосистеме и для них характерно совместное влияние на живые организмы. Установлено, что порядка 400 видов веществ могут вызвать загрязнение вод. Если допустимая норма превышена по крайней мере для одного из трех показателей вредности: санитарно-токсикологическому, общесанитарному или органолептическому, вода считается загрязненной [Вострикова, Шкода, с.10-11].

Одним из важных загрязнителей водоемов является тепловое загрязнение. В настоящее время активно изучается взаимосвязь между энергетическими и водными ресурсами, что в основном связано с быстрым развитием промышленного сектора, что способствовало увеличению спроса на электроэнергию. Это связано с реструктуризацией существующих электростанций, созданием новых электростанций, расширением мощностей и значительным увеличением количества охлаждающей воды, необходимой для эксплуатации электростанций электростанции [Проблема экономической оценки..., с. 198-200].

По экономическим соображениям и соображениям безопасности большинство электростанций расположены в прибрежных районах. Эти электростанции используют системы постоянных водных путей, где вода извлекается непосредственно из резервуара, которые действуют как охладители. В результате тепловой контур, нагретый до высоких температур на электростанциях, поступает непосредственно в резервуар. Большое количество тепла, передаваемого термальной водой, передается в приемный резервуар, что повышает естественную температуру принимающей воды, что прямо или косвенно влияет на экологическую среду. Физические свойства воды, используемой для охлаждения энергетической системы

(плотность, вязкость), отличаются от физических свойств приемного резервуара. Вода охлаждается посредством смешивания встречных потоков [Елчуева, Герасимова, с. 221-222, Любимова, Паршикова, с. 92-95].

Отмечается, что из-за деятельности гидроэлектростанций повышается температура воды, что приводит к изменениям путей миграции рыбы, темпов размножения водорослей. Это впоследствии может иметь негативный эффект, так как будет происходить изменение водной экосистемы, что отразится на живых организмах, существующих внутри неё [Касьян, с. 9-11, Кузнецов, Литвак, Максимов, с. 19-20]. Ряд исследователей указывают на положительные эффекты от нагревания воды. Например: увеличение улова рыбы или продление вегетационного периода у растений [Никифоров, Бородин, с. 43, Заушинцен, Скалон, с. 13].

Другим важным загрязнителем водоемов является сельскохозяйственное производство. Использующиеся пестициды и гербициды способны попадать в грунтовые воды, а те в свою очередь в подземные источники. Со временем вода из подземных источников попадает в поверхностные, при этом она содержит продукты распада пестицидов и гербицидов. Различные минеральные удобрения приводят к изменению химического состава почвы, что может изменить в будущем химический состав воды, т.е. она может стать более жесткой или более мягкой [Брюханов, Кондратьев, Обломкова, с. 175-176, Брюханов, Кондратьев, Васильев, с. 184-185].

Жесткость воды является одним из её параметров, связанным с содержанием в воде растворенных солей щелочноземельных металлов, таких как, кальция и магния. Если в воде содержится большое количество солей, то она является жесткой, в обратном случае – мягкой. Катионы кальция и магния необходимы для нормального развития и функционирования корневой системы растений. В исследовании В.Г. Журовой и М.С. Светличной отмечалось, что при недостатке вышеуказанных элементов происходит снижение всхожести семян и ухудшение морфологического

состояния растений [Журова, Светличная, с. 13-15]. А в работе А.Е. Зиновьевой и Д.А. Дурникина подчеркивалось влияние минерализации на распространение и численность растений [Зиновьева, Дурникин, с. 33-36].

Сельское хозяйство также способствует накоплению соединений азота у водных объектов. В свою очередь соединения азота способствуют эвтрофикации водоемов, что особенно заметно может проявляться в летнее время. В ряде исследований отмечается, что наибольшее содержание нитратов в водоемах наблюдается в феврале, нитритов – в декабре, аммония – в ноябре. При этом, реки легче справляются с повышением концентрации соединений азота по сравнению с озерами и прудами, за счет естественных течений [Сыромятникова, Колмыков, Корнилов, с. 1-5].

Образование солей тяжелых металлов также приводит к загрязнению водных объектов. В результате промышленной деятельности в атмосферу ежегодно попадают тяжелые металлы. При попадании их в почву, способствуют её загрязнению. При осаждении на дно водоемов или при фильтрации в пласте тяжелые металлы и их соединения сорбируются частицами пород, окисляются и восстанавливаются, выпадают в осадок, однако, как правило, полного самоочищения загрязненных вод не происходит. Очаг загрязнения подземных вод в сильно проницаемых грунтах может распространяться до 10 км и более. При совокупном действии тяжелых металлов с кислотными дождями образуются технологические пустыни [Черных, Челтыгмашева, Баева, с. 179-182].

Образование газов и изменение концентрации кислорода приводит к загрязнению водоемов. К основным источникам образования газа относятся: промышленность (легкая, тяжелая и сельская) и транспорт. Главные проблемы выбросов газов в атмосферу - это недостаточное качество фильтров на предприятиях и использование старых технологий. К основным газам, поступающим в атмосферу относятся: угарный газ, оксиды и диоксиды серы и азота, тяжелые углеводороды. Угарный газ способен растворяться в воде, изменяя соотношение газов внутри водоема, что может

привести к гибели живых организмов. Оксиды серы при контакте с атмосферной водой образуют сернистую кислоту, которая при кислотных дождях опасна для растительности и человека. Оксиды серы также ускоряют коррозию металлов, что может повредить производственные линии и как следствие, ухудшить состояние промышленности. Оксиды и диоксиды азота в атмосфере при контакте с водой образуют азотную кислоту, которая осаждаются в почве и водоемах в виде нитратов. Растения, содержащие большое количество нитратов, способны вызвать у человека, употребляющего их в пищу, отравление. Легкие и тяжелые углеводороды несут опасность в том, что образуют на поверхность водоемов масляные пленки, которые препятствуют циркуляции газов, особенно кислорода [Аргучинцева, Вологжина, с. 20-24, Кузнецова, с. 1-2, Наац, Кириллов, Корчагин, с. 16-17, Денисова, с. 15].

Перечисленные источники загрязнения водных объектов влияют не только на организмы, обитающих в них, но и на параметры почвы и воды. Данные параметры отображают экологическую обстановку местности, и их изменение приводит к ухудшению экологии.

### 1.3. Признаки повреждения растений под влиянием загрязнения окружающей среды

На данный момент существует большое разнообразие химических и физико-химических методов, позволяющих выявить и оценить спектр веществ, которые влияют на биологическую активность организмов, а также решить проблемы экологии в городах.

Фитотестирование - метод общей системы экологического мониторинга, позволяющий получить комплексную оценку характеристики среды. Данный метод прост и дешев в использовании и позволяет быстро получить данные о загрязненности среды. Для фитотестирования используются тест-растения, которые способны адекватно реагировать на экзогенное воздействие, приводящее к изменению морфологических и

физиологических параметров при росте и развитии растений [Шабалина, Демьяненко, 2009, с. 107, Еремченко, Митракова, с. 60-61].

Одним из главных вопросов, является определение наиболее оптимального и подходящего для исследования тест-объекта, позволяющего точно оценить параметры среды в независимости от условий и точек сбора. Наиболее часто применяется метод оценки фитотоксичности на примере нескольких растений, принадлежащих к разным классам - однодольные и двудольные. Связано это в первую очередь с разной чувствительностью к загрязняющим веществам [Шабалина, Демьяненко, 2012, с. 103-105].

Растения, используемые при оценке фитотоксичности, при действии загрязнителя проявляют разнообразные морфологические реакции. К примеру, одним из таких проявлений является изменение окраски листьев, то есть появление хлорозов. При хлорозе происходит нарушение процессов синтеза хлорофилла в листьях, что приводит к снижению активности фотосинтеза. Хлороз хорошо заметен на растениях, благодаря тому, что листья изменяют свою окраску на жёлтую или бурую, становятся меньше по размеру, реже встречается отмирание корней или опадение листьев [Тихомирова, Захарова, с. 49-50].

Хлороз по природе возникновения делится на две категории – инфекционную и неинфекционную. Инфекционная вызвана деятельностью вирусов, грибов и микроорганизмов. Но в плане фитотестирования и оценки антропогенного воздействия более значимой является неинфекционная или функциональная. Она развивается при неблагоприятных почвенных или климатических условиях. Так, при недостатке в почве железа, магния или азота, которые являются следствием изменения кислотности почвы, корни будут получать меньшее количество минералов, что будет отображаться морфологически. Также у растений при действии поллютанта могут появляться некрозы, изменение размеров, формы, количества органов, направления роста побегов или изменение плодовитости [Характер и степень..., с. 31-35, Колясникова, с. 39-40, Калманова, с. 65-66].

Но не все растения при накоплении в организме загрязняющих веществ или избыточном накоплении продуктов метаболизма, которые также вызваны загрязнением, проявляют это морфологически. Данные растения при превышении токсичности вещества или группы веществ задевают ответные реакции, которые выражаются в изменении скорости роста и длительности фенологических фаз, биометрических показателей и снижении продуктивности [Заушинец, Скалон, с. 10-13].

Но не всегда действие поллютантов приводит к повреждению растения, в иных случаях – к адаптации. Стресс делится на фазы, которые отличаются друг от друга и по которым можно судить об адаптивной способности выбранного тест-объекта [Медведев, с. 224-225].

Первая фаза или фаза тревоги характеризуется значительным отклонением в физиолого-биохимических процессах, которые выражаются проявлением симптомов повреждения и защитных реакций. Защитные реакции способствуют ликвидации возникающих повреждений в организме. Но если тест-объект имеет слабые адаптативные способности или воздействие поллютанта высоко, то происходит смерть организма. Если этого не происходит, то наступает вторая фаза.

Вторая фаза или фаза сопротивления связана с адаптацией к изменяющимся условиям окружающей среды, и также возможно наблюдать усиление повреждения. При медленном развитии неблагоприятных условий организм легче адаптируется к ним. После второй фазы растения, адаптированные к изменившимся условиям окружающей среды, произрастают в норме, но в целом при сниженном уровне жизненных процессов.

Третья фаза или фаза истощения характеризуется гидролитическими процессами, связанными с угнетением энергообразующих и синтетических реакций, что приводит к нарушению гомеостаза. При сильной напряженности стресса, превышающей пороговое для организма значение, растение гибнет. При прекращении действия стресс-фактора и нормализации



условий среды включаются процессы репарации, то есть восстановления или ликвидации повреждений [Медведев, с. 224-230, Reactive oxygen species..., с. 90-95].

Адаптация характерна для всех живых организмов и протекает всегда, так как организмы находятся в открытых экосистемах. Адаптационные процессы или защитные реакции внутри организма позволяют выжить в изменяющихся условиях среды.

Фитообъекты на изменения параметров экосистемы (например, превышение солей тяжелых металлов или появление нефтяной пленки на поверхности водоема) реагируют комплексно, то есть происходит изменения в биохимических и физиологических процессах. Характер ответной реакцией растения на неблагоприятные факторы включается в себя неспецифические реакции, возникающие при действии любых неблагоприятных условий и специфические реакции, зависящие от особенностей воздействия [Медведев, с. 231-234].

Неспецифические процессы, происходящие в клетках растений при действии стрессового фактора или агента, проявляются следующим образом:

- 1) повышение проницаемости мембран, вследствие деполяризации мембранного потенциала плазмалеммы;
- 2) проникновение катионов кальция в цитоплазму;
- 3) изменение кислотно-щелочного состава цитоплазмы в кислую сторону;
- 4) активация сборки актиновых микрофиламентов и сетей цитоскелета, в результате чего возрастает вязкость и светорассеивание цитоплазмы;
- 5) усиление поглощения кислорода и повышение потребляемости АТФ, а также развитие свободнорадикальных реакций и накопление активных форм кислорода;
- 6) возрастание гидролитических процессов;
- 7) активация и синтез стрессовых белков;

- 8) усиление активности протонного насоса в плазмалемме, препятствующей неблагоприятным сдвигам ионного гомеостаза;
- 9) увеличение синтеза этилена, торможение деления и роста, поглотительной активности клеток и других физиологических и метаболических процессов, осуществляющихся в обычных условиях [Малиновский, с. 56-61, Полевой, с. 196-199].

Данные комплексные реакции позволяют растениям адаптироваться. Благодаря нехарактерному или избыточному накоплению продуктов метаболизма можно судить о степени поврежденности тканей или клеток выбранного тест-объекта.

Как было отмечено ранее, в условиях повышенного загрязнения происходит изменение морфологических и физиологических параметров растений. В исследовании О.М. Шабалиной и Т.Н. Демьяненко в качестве тест-объектов использовались – салат посевной, клевер ползучий, ячмень и пшеница. Показано, что однодольные растения более чувствительны к загрязнению окружающей среды, выражающееся в снижении схожести семян и морфометрических параметров проростков, тогда двудольные растения крайне чувствительны к рН почвы [Шабалина, Демьяненко, с. 106-113].

Изменение рН почвы объясняется смещением равновесия микроэлементов, которые попадают в нее в результате антропогенной деятельности. Существует достаточно большое количество экспериментальных данных, свидетельствующих о высокой фитотоксичности тяжелых металлов [Корнилов, с. 42-44, Берсенева, с. 42-44, Сравнительная оценка токсичности..., с. 97-99, Черных, Челтыгмашева, Баева, с. 185-187]. К примеру, кадмий имеет родство к сульфгидрильным группам некоторых соединений, а также к боковым цепочкам белков и фосфатным группам. Увеличение количества кадмия в почве приводит к тому, что происходит нарушение синтеза метионина и цистеина. А нарушение синтеза проявляется в виде тормозящего действия на фотосинтез,

нарушении транспирации и фиксации углекислого газа, изменении проницаемости клеточных мембран. Субклеточное воздействие свинца на ткани растений приводит к ингибированию процессов дыхания и фотосинтеза, связанное с нарушением переноса электронов [Колесников, Аветисян, с. 13-14, Аветисян, Колесникова, с. 25-27].

При этом, существуют тяжелые металлы, которые играют важную роль в метаболизме растений. Цинк входит в состав ряда ферментов – дегидрогеназы, протеиназы, пептидазы и фосфогидралазы. Данные ферменты связаны с метаболизмом углеводов, белков, ДНК и рибосом. Медь, как и цинк, имеет немаловажное значение в процессах фотосинтеза, дыхания, метаболизме углеводов и белков. Выявлено, что большая концентрация меди в тканях ксилемы повышает ее проницаемость для воды, что в свою очередь, приводит к изменению баланса влаги. Кроме того, медь контролирует образование ДНК и РНК, а ее дефицит тормозит репродукцию растений [Радионов, Волков, Холодова, с. 22-26].

В статье Н.А. Черных было выявлено, что под действием тяжелых металлов происходит увеличение количества заменимых аминокислот (пролина, глицина, глутаминовой и аспарагиновой кислот), но при этом происходит снижение количества незаменимых аминокислот (лизина, лейцина, изолейцина и метионина) [Черных, Челтыгмашева, Баева, с. 185-187].

Обязательное присутствие в растениях небольших количеств некоторых тяжелых металлов обусловлено их участием в ряде естественных процессов обмена веществ, роста и развития, но при избытке тяжелых металлов в окружающей среде нарушается динамическое равновесие. Химические элементы, попадающие в растение в значительных количествах, уже могут вызывать сильный токсический эффект.

Тяжелые металлы поглощаются растениями, растущими на суше, водными растениями и растениями, живущими в «пограничных» районах водоемов, в разных количествах и с различной интенсивностью. Условия

обитания также важны для определения механизма процесса поглощения тяжелых металлов, его продолжительности и скорости [Дайнеко, Тимофеев, Жадько, с. 124-132].

Растения на суше поглощают подвижные формы тяжелых металлов, главным образом благодаря их корневому питанию из почвы. Подвижные формы тяжелых металлов, которые растворяются в воде, поглощаются гораздо легче, и поэтому виды растений, которые имеют длительный контакт с водоемами, подвергаются большему риску увеличения содержания металлов. Растения, расположенные на границе водоемов или в прибрежной зоне, имеющие постоянный контакт с водой и развитую корневую систему, способны поглощать тяжелые металлы как из почвы, так и из водной среды. Кроме того, прибрежная растительность, находясь в более комфортных условиях, способна образовывать довольно густые заросли, которые превращаются в своего рода аккумулятор веществ, переносимых в виде различных потоков с поверхности суши в водоем [Мурашко, Кравченко, с. 105-109].

Помимо тяжелых металлов для живых организмов может быть токсичен оксид углерода. Он попадает в атмосферу за счет выхлопных газов автомобилей и промышленности. По гигиеническим нормативам Министерства здравоохранения РФ разовая ПДК оксида углерода в воздухе составляет  $5 \text{ мг/м}^3$ . Локальное превышение концентрации углекислого газа приводит к изменению микроклимата, в частности, заключается в повышении температуры, что является для растений стрессом [Видякина, Семенова, с. 49, Чомаева, Джуртубаев, с. 71-72].

Некоторые растения более чувствительны к природе и степени загрязнения воздуха. Это означает, что они могут служить живыми индикаторами состояния окружающей среды. Растения могут использоваться как для выявления отдельных загрязнителей воздуха, так и для оценки качества окружающей среды [Малиновский, с. 70-72].

#### 1.4. Перекисное окисление липидов у растений

В ходе эволюции жизни на Земле и появления молекулярного кислорода в атмосфере в качестве побочного продукта фотосинтеза в клетках сформировались новые механизмы, позволяющие использовать кислород. Сначала кислород стал использоваться в клетках как универсальный акцептор электронов при окислении различных субстратов. Во-вторых, организмы сталкиваются с проблемой токсичности чрезмерного хранения кислорода. Поэтому молекулярные и физиологические механизмы были сформированы, чтобы предотвратить его токсичность [Рогожина, с. 28-29].

Таким образом, термин активированный кислород или активные формы кислорода (АФК) был сформирован. Он обозначает совокупность короткоживущих, взаимопревращающих и относительно реактивных форм кислорода (анион супероксидного радикала, гидроксильный радикал, перекись водорода и синглетный кислород), возникающих в результате его электронного возбуждения или окислительно-восстановительного превращения [Индукция синтеза низкомолекулярных..., с. 3-4].

В результате воздействия абиотических, биотических и антропогенных стрессов на поверхности клеток образуются АФК, и в организме происходит изменение баланса между образованием АФК и антиоксидантной защитной системы. Структурные и функциональные нарушения, вызванные одним или несколькими стрессорами, усиливают активацию кислорода, что, в свою очередь, приводит к новым нарушениям и усугубляет первоначальное повреждение [Музалевская, Донская, с. 109-110].

Все АФК имеют свойство окислять различные функциональные группы органических веществ, что сопровождается модификацией или деградацией белков, разрушением липидов мембран и хлорофилла, повреждением ДНК и цитоскелета. При взаимодействии АФК и органических веществ происходит образование гидропероксидов ДНК, белков, липидов. В ходе метаболизма данные вещества переходят в спирты,

альдегиды, эпоксиды и ряд других окисленных соединений. Образование гидропероксидов называют перекисным окислением или пероксидацией. В липидах, а точнее, в полиненасыщенных жирных кислотах, АФК вызывает цепные реакции, в результате чего, в клетках происходит накопление липидных радикалов, пероксидов и алоксидов. Затем образуются диеновые конъюгаты жирных кислот, а конечным продуктом реакций являются минорные метаболиты - малоновый диальдегид, этан, пентан и т.д. Данный каскад свободно-радикальных реакций получил название перекисное окисление липидов (ПОЛ) [Нельсон, Кокс, с. 454-457]. ПОЛ возникает в любой живой системе, которая функционирует в условиях стресса (повышенный физиологический стресс или воздействие экстремальных условий). Также ПОЛ является первичным и вторичным медиатором в механизме общего стресс-адаптационного синдрома [Перекисное окисление липидов..., с. 210-212].

ПОЛ состоит из нескольких стадий: инициирование, развитие, разветвление и обрыв цепи:

- 1) инициирование цепной реакции начинается с того, что в липидный слой мембран или липопротеинов внедряется свободный радикал. Гидроксил-радикал взаимодействует с метиленовой группой, расположенной между двойными связями, и вытесняет атом водорода, при этом происходит восстановление гидроксила-радикала до воды. Далее в жирной кислоте происходит перестановка двойной связи, смещение радикальной группы и взаимодействий её с кислородом. В результате в липидном слое мембран образуются липидные радикалы.
- 2) затем липидный радикал взаимодействует с соседними жирными кислотами, что приводит к его нейтрализации и появлению липоперекисных радикалов, то есть липидный радикал вступает в реакцию с растворенным в среде молекулярным кислородом, из-за этого образуется новый свободный радикал - радикал липоперекиси. Данный радикал вступает в реакцию с одной из соседних молекул

фосфолипида с образованием гидроперекиси липида нового липидного радикала. Таким образом происходит развитие линейной цепной реакции с появлением новых окисленных жирных кислот.

- 3) ветвление реакции протекает за счет получения гидроперекиси электронов от металлов или при действии излучения.
- 4) обрыв цепной реакции происходит при взаимодействии радикалов друг с другом или в реакции с различными антиоксидантами. Например, витамин Е при отдаче электронов, превращается в довольно стабильную окисленную форму [Тимин, с. 1-3, Хамроева, Давлятназарова, Норкулов, с. 308-312].

При оксидативном стрессе происходит увеличение образования свободных радикалов, что приводит к усилению процессов пероксидации липидов. Все это сопровождается рядом нарушений в свойствах биологических мембран и функционировании клеток. В мембранных белках наблюдается окисление тиоловых соединений, повреждение переносчиков мембран и липопротеинов, повышение проницаемости для ионов и повреждение транспортных АТФаз. Для липидного слоя мембраны характерно увеличение её микровязкости и изменение поверхностного заряда, уменьшение гидрофобного объема, увеличение полярности липидной фазы и увеличение проницаемости для ионов водорода и кальция [Прядехина, Лапшин, Загоскина, с. 89-90, Перекисное окисление липидов дикорастущих..., с. 299-300].

Гидроперекиси жирных кислот являются первичными продуктами ПОЛ. Но они впоследствии подвергаются дальнейшему распаду с образованием вторичных продуктов ПОЛ – различных спиртов, кетонов, альдегидов и диальдегидов, эпоксидов и других соединений. При этом, наиболее реакционноспособным из вторичных продуктов ПОЛ является малоновый диальдегид, который способен образовывать ковалентные связи с аминокруппами белков и иных молекул с образованием шиффовых оснований. В конечном результате, после окислительной атаки в

белках появляются поперечные сшивки внутри одной молекулы, между разными белками, между белками и фосфолипидами. Из-за этого активность ферментативных белков изменяется, возможности структурных и сократительных белков падают, каналобразующие белки мембраны деформируются и проницаемость мембран возрастает, жизнеспособность и функционирование клетки уменьшается [Тимин, с. 1-3].

Содержание или концентрация вторичных и третичных продуктов ПОЛ важна для оценки степени воздействия стрессового фактора. Вторичные продукты позволяют судить о ранней стадии окисления, тогда как третичные, показывают степень адаптивной способности организма к воздействию факторов внешней среды [Интенсивность свободнорадикального окисления..., с. 52-53].

#### 1.5. Перекисное окисление липидов как маркер загрязненности окружающей среды

Перекисное окисление липидов является одним из маркеров поврежденности клеток растений. ПОЛ – совокупность реакций, протекающих внутри организма. При нормальном функционировании биомембран количество продуктов ПОЛ не оказывает негативного воздействия, но при стрессе и воздействии поллютантов происходит избыточное накопление продуктов реакции. При действии данных факторов, накопление АФК провоцирует формирование патологического состояния организма [Казакова, Гайдаш, с. 62-64].

Свободно-радикальное окисление является процессом непосредственного переноса кислорода на субстрат, при этом, происходит образование таких токсических продуктов как: перекиси, альдегиды и кетоны. Если данный тип окисления нарушается, то происходят изменения в тканях и клетках, формирующих их. Уровень свободно-радикального окисления влияет на биохимические процессы и функции клеток, обеспечивая их нормальную работу [Тугушева, с. 20-22].



При активации перекисных процессов происходит повреждение белков, встроенных в мембрану, изменением активности мембраносвязывающих ферментов, что приводит к нарушению обменных процессов клетки. Нарушение функции мембраносвязывающих ферментов вызывает изменение функциональных свойств мембран с резким повышением проницаемости, накоплением в клетке натрия, кальция, протонов водорода. Данное изменение приводит к изменению рН клетки, цитолизу и гибели клетки [Корнилов, с. 51-57].

В исследовании М.Г. Половниковой было установлено, что образование АФК на клеточной поверхности происходит в ходе действия стресса. При этом, АФК является первичным сигналом в стрессовых реакциях [Половникова, с. 166].

В работе других авторов было выявлено, что АФК является центральным компонентом в интегрированной сигнальной системе, которая реализует последующий каскад реакций в клетках растений при воздействии неблагоприятных факторов. При поддержании АФК на необходимом и безопасном для клетки уровне исключается потенциальное окислительное повреждение [The Role of Active..., с. 406-407, Yang, Shah, Klessig, с. 1624-1625]. Все это является жизненной стратегией растения и реализуется с помощью многокомпонентной антиоксидантной системы защиты [Половникова, с. 167].

В работах многих авторов отмечалось увеличение содержания продуктов ПОЛ в растениях при действии низких и высоких температур, УФ-радиации и избытка световой энергии, засухи, засоления, тяжелых металлов, проникновении фитопатогенных микроорганизмов и грибов и т.д. [Bolwell, с. 287-294, Lamb, Dixon, с. 275, Nitric oxide protects..., с. 328-330, Mittler, с. 407-409, Nitric oxide is a novel..., с. 13-16].

В статье J.D. Alche подтверждалась роль АФК в передаче сигналов в событиях, связанных с функциями растений, такими как: реакция на раздражители, рост, размножение, питание, фотосинтез, адаптация к

изменениям температуры [Alche, с. 27-30]. В других работах отмечалось, что продукты ПОЛ и АФК способствуют регуляции активности многочисленных ферментов и способны модулировать экспрессию генов [Foyer, с. 141-142, Noctor, Reichheld, Foyer, с. 12, Van Ruyskensvelde, Van Breusegem, Van Der Kelen, с. 192]. В исследовании Е.А. Erofeeva отмечалось, что скорость ПОЛ зависит от концентрации поллютантов и длительности их воздействия [Erofeeva, с. 59-63].

В работе китайских ученых был проведен анализ веществ, которые из-за широкого использования стали встречаться как загрязнители окружающей среды. Бисфенол А (БФА) является важным промышленным сырьем. Из него изготавливают эпоксидные смолы и поликарбонатный пластик, которые используются для производства спортивного инвентаря, зубных пломб и герметиков, а также для покрытия внутренней стороны банок, бутылок и продуктов питания. Было выявлено, что воздействие низких концентраций БФА индуцирует ПОЛ мембран, но не активирует антиоксидантные системы. А высокие концентрации БФА увеличивают уровень АФК, продуктов ПОЛ и ферментов антиоксидантной защиты. Но степень восстановления напрямую зависит от концентрации БФА и стадии роста, т.е. чем старше растения, тем более сложно ему адаптироваться [Zhang, Xingyi, Zhou, с. 23-34].

Также продукты сгорания углеводородов и других поллютантов атмосферы, попадая в растения, усиливают образование свободных радикалов. Например, диоксид серы в хлоропластах способствует образованию серосодержащих свободных радикалов. При фотохимическом окислении углеводородов образуется пероксиацетилнитрат (ПАН), повреждая ткани молодых листьев. Таким образом, можно предположить, что виды с пониженным уровнем антиоксидантной защиты при загрязнении атмосферы имеют низкую жизнеспособность в результате окислительного повреждения мембран и постепенно заменяются более экологически устойчивыми видами [Немерешина, Гусев, Карпюк, с. 37-40].

Одним из неблагоприятных последствий перекисного окисления липидов в результате действия кислородных радикалов и последующего разрыва полиеновых кислот, является образование диеновых конъюгатов и малонового альдегида. Малоновый альдегид один из конечных продуктов ПОЛ. Другими словами, это продукт разложения жирных кислот. В свою очередь, этот альдегид образует шиффовы основания с аминокруппами белков, в результате чего образуются нерастворимые липид-белковые комплексы, которые иногда называют «пигментами изнашивания» (липофусцинами). Показано, что малоновый альдегид способен реагировать с ДНК, образуя ДНК-аддукты, в первую очередь мутагенный [Marnett, с. 77-80]. Также диоксид азота увеличивает концентрацию одного из продуктов ПОЛ – малонового диальдегида. Все это свидетельствует об окислительном стрессе и повреждении клеточной мембраны [Sheng, с. 89-90].

Реакции ПОЛ имеют высокую лабильность при действии внешних факторов, что позволяет их использовать при изучении состояния окружающей среды.

#### 1.6. Антиоксидантная система защиты у растений

Растения, находясь в открытых экосистемах, постоянно испытывают влияние различных экологических факторов, которое могут вызывать их повреждение. Под влиянием стресса, в том числе вызванного экологическими факторами, происходит образование свободных радикалов или АФК. Для поддержания нормального физиологического уровня свободнорадикальных процессов в клетках существует антиоксидантная система. Она представлена рядом ферментативных антиоксидантов: супероксиддисмутаза, каталаза, дегидроаскорбатредуктаза, глутатионтрансфераза, аскорбатпероксидаза, фосфолипидгидропероксидаза и др. Также существуют неферментативные антиоксиданты. Например: аскорбиновая кислота, глутатион, каротиноиды, антоцианы, токоферолы, убихиноны, флавоноиды, цистеин, метионин и др. [Чанчаева, Айзман, Герасев, с. 50-54].

Существует несколько уровней защиты клеток от негативного действия АФК:

- 1) системная защита клеток за счет значительного снижения напряжения кислорода в тканях по сравнению с атмосферным воздухом;
- 2) обеспечивается в процессе четырехэлектронного восстановления основной массы внутриклеточного кислорода при участии цитохромоксидазы без выделения свободных радикалов;
- 3) ферментативное удаление образовавшихся супероксидного анион-радикала и перекиси водорода;
- 4) наличие антиоксидантов, которые прерывают развитие линейной цепной реакции с появлением новых окисленных жирных кислот;
- 5) ферментативное восстановление гидроперекисей полиненасыщенных жирных кислот [Петрович, Гуткин, с. 87-89].

Ферментативные антиоксиданты – высокомолекулярные соединения, которые обеспечивают комплексную антирадикальную защиту биополимеров. Для них характерна высокая специфичность, строго определенная органная и клеточная локализация, а также использование в качестве катализаторов металлов: медь, железо, марганец, цинк [Гудков, Брусков, Куликов, с. 62].

Супероксиддисмутаза является мощным ингибитором свободнорадикального окисления в организме, защищающим биополимеры (белки, нуклеиновые кислоты и др.) от окислительной деструкции. Супероксиддисмутаза – индуцируемый фермент, то есть синтез его увеличивается, если в клетках активируется ПОЛ [Россихина, Винниченко, с. 233].

Каталаза представляет собой гемный фермент, состоящий из четырех субъединиц с общей молекулярной массой приблизительно 230 кДа. Это металлопротеин, который содержит гем железа в своем активном центре. Было обнаружено 5 изоформ каталазы. Относится к классу ферментов

оксиредуктазы. Он локализуется преимущественно в пероксисоме, частично в микросоме и в меньшей степени в цитозоле. Она локализуется в основном в пероксисомах, частично - в микросомах и в меньшей мере - в цитозоле. Необходимы достаточно высокие концентрации перекиси водорода для проявления каталитической функции фермента, имеющего невысокое сродство к субстрату и использующего в качестве донора электрона при восстановлении перекиси водорода до воды и молекулярного кислорода вторую молекулу пероксида. Каталаза всегда присутствует в системе, в которой происходят процессы клеточного дыхания с участием цитохрома, в которых перекись водорода образуется в результате восстановления кислорода. Роль каталазы в растениях заключается в разрушении водорода и клеток и переработке водорода, накопленного в процессе жизнедеятельности, в воду и молекулярный кислород. Она наиболее активна в молодых жизнеспособных тканях и органах растений. Данный фермент ингибируется синильной кислотой, сероводородом, фторидами. Повышенная активность антиоксидантных ферментов защищает растения от окислительного стресса и повышает устойчивость растений к абиотическим факторам в городской среде [Соколова, Конакова, Мухаметова, с. 22-24].

В ряде экспериментов было показано, что происходит достоверное ингибирование активности каталазы в опытных растениях по сравнению с контрольными, что говорит о возможности использования данного биохимического показателя в качестве тест-функции при мониторинге загрязнения почв и водоемах [Багдасарян, с. 40, Минкина, Вардуни, Манджиева, с. 36-39, Абросимова, Трояновская, Меркулова, с. 381-384].

Глутатионпероксидаза - фермент, обеспечивающий инактивацию пероксида водорода и пероксидных радикалов. Он катализирует восстановление пероксидов при участии трипептида глутатиона. Сульфидная группа глутатиона служит донором электронов и, окисляясь образует дисульфидную форму глутатиона. Глутатионпероксидаза в качестве кофермента использует селен. При его недостатке активность

антиоксидантной защиты снижается [Разыграев, Матросова, Титович, с. 106].

Неферментативные антиоксиданты делятся на следующие группы:

- 1) природные водорастворимые антиоксиданты (витамин С, карнозин, таурин; восстановленные тиолы, содержащие сульфидные группы, цистеин и белки, содержащие селен). Витамин С участвует в ингибировании ПОЛ с помощью двух механизмов. Во-первых, он восстанавливает окисленную форму витамина Е и поддерживает необходимую концентрацию этого антиоксиданта в мембранах клеток. Во-вторых, витамин С взаимодействует как восстановитель с водорастворимыми активными формами кислорода и инактивирует их.
- 2) липофильные низкомолекулярные антиоксиданты, локализованные в мембранах клеток (витамин Е, каротин, нафтохиноны). Витамин Е – наиболее распространенный антиоксидант в природе, способен инактивировать свободные радикалы непосредственно в гидрофобном слое мембран и тем самым предотвращать развитие цепи перекисного окисления.  $\beta$ -каротин, предшественник витамина А, также ингибирует ПОЛ. Уменьшение содержания этого антиоксиданта в тканях приводит к тому, что продукты ПОЛ начинают производить вместо физиологического патологический эффект [Маханова, с. 232-234].

Ключевая роль в инактивации свободных радикалов принадлежит внутриклеточным и внеклеточным ловушкам, обеспечивающим разрыв цепи свободнорадикального окисления. К ним относятся фенольные антиоксиданты (простые фенолы, нафтолы и оксипроизводные других ароматических соединений). На данный момент выделено несколько тысяч фенольных соединений, среди которых витамины Е и К, убихиноны, триптофан и фенилаланин, а также большинство растительных и животных пигментов, в частности каротиноиды, флавоноиды, фенокарбоновые

кислоты, обладают выраженным антиоксидантным эффектом [Чеснокова, Понукалина, Бизенкова, с. 31-35].

Благодаря наличию двух фенольных групп в структуре, аскорбиновая кислота может функционировать в качестве донора и акцептора для ионов водорода, а ее антиоксидантные свойства характеризуются широким спектром инактивирующего воздействия на различные свободные радикалы. Антиоксидантные свойства аскорбиновой кислоты связаны с ее оксиредуктазными переходами. Теряя атом водорода, аскорбиновая кислота превращается в радикал - монодегидроаскорбиновую кислоту, проявляющую прооксидантный эффект, потеря еще протона приводит к образованию дегидроаскорбиновой кислоты. При этом участвует фермент, содержащий медь – аскорбатоксидаза [Ксейко, Генинг, Бочкова, с. 2357-2358].

Из биофлавоноидов наиболее изучены антиоксидантные свойства кверцетина и рутина, способных за счет ортогидроксильных фенольного кольца быть донорами водорода. Биофлавоноиды гасят супероксидный анион-радикал, проявляют антиатерогенное, гипохолестеринемическое действие [Чеснокова, Понукалина, Бизенкова, с. 33].

Все представленные выше компоненты позволяют эффективно функционировать клеткам в условиях окислительного стресса. Но ответ антиоксидантной системы на один и тот же стрессор зависит от вида растений, степени и продолжительности стрессового воздействия, от характера стрессового фактора, от состояния антиоксидантной системы, исходного уровня антиоксидантной активности, возраста растений и условий их выращивания [Московченко, Моисеева, Хозяинова, с. 135-136].

Следует отметить, что некоторые компоненты антиоксидантной системы способны функционировать без присутствия кофакторов. Супероксиддисмутаза и каталаза относятся к ним. Также реакции дисмутации супероксиданионрадикала и разложения перекиси водорода

экзотермичны. Благодаря этому свойству данные ферменты не зависят от функционирования других клеточных структур [Иванова, Цыганов, с. 880].

Ряд исследователей считает, что уровень активности внутриклеточных ферментативных антиоксидантных систем генетически детерминирован, причем избыточное накопление в клетках супероксидного анион-радикала или перекиси водорода сопровождается депрессией участков генома, ответственного за активность внутриклеточных ферментативных антиоксидантных систем [Иванова, Цыганов, с. 890-894, Гуленко, с. 148].

Следует отметить, что изменения активности антиоксидантных ферментов зависят от интенсивности образования активных форм кислорода: в случае умеренного увеличения АФК, как правило, происходит активация ферментного звена антиоксидантной системы, при этом чрезмерное повышение уровня свободных радикалов, ферментативное звено радикальной защиты клеток часто подавляется. Однако из-за чрезмерного образования инициаторов свободнорадикального окисления пул и неферментативные антиоксиданты могут быть истощены, которые, выступая в качестве ловушки свободных радикалов, превращаются в неактивные димерные и другие формы [Новиков, Левченкова, Пожилова, с. 19-21].



## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Характеристика материала

Царство: Растения (Plantae)

Отдел: Цветковые (Angiosperms)

Класс: Двудольные (Magnoliopsida)

Порядок: Бобоцветные (Fabales)

Семейство: Бобовые (Fabaceae)

Род: Клевер (Trifolium)

Вид: Клевер ползучий (*Trifolium repens*)

Клевер ползучий - травянистое многолетнее растение семейства бобовых. Корневая система стержневая, ветвящаяся. Стебель ползучий, стелющийся, укореняющийся в узлах, ветвистый, голый, часто полый. Листья длинночерешчатые, трёхраздельные, их листочки широкояйцевидные, на верхушке выемчатые.

Соцветия головки пазушные, почти шаровидные, рыхлые, до 2 см в поперечнике; цветоносы длиннее черешков листьев, длиной 15-30 см, после отцветания отгибаются вниз, тогда как молодые или цветущие торчат вверх. Венчик белый или розоватый, по отцветании буреют; цветки слегка ароматные. В цветке 10 тычинок, девять из них сросшиеся нитями в трубочку, одна - свободная. Нектароносная ткань расположена на дне венчика вокруг завязи. Цветёт с мая до глубокой осени. Цветки в головке распускаются от периферии к центру. Плод - боб продолговатый, плоский, содержит от трёх до четырёх почковидных или сердцевидных семян серо-жёлтого или оранжевого цвета. Начало созревания семян - июнь-июль.

В России встречается по всей территории России, за исключением Арктики и пустынь. Растет как сорное растение вдоль дорог, домов, на пустырях, лугах, по лесным опушкам и берегам водоемов. Часто сорничает в посевах. К почвам нетребователен. Влаго- и светолюбив, морозостоек.

Является почвоулучшающим растением. По химическому составу содержит сапонины, углеводы, азотсодержащие соединения, стероиды, липиды,

кислоты, цианогенные гликозиды, витамины, флавоноиды и другие полифенольные соединения [Попов, Черкасова, Баранова, с. 7-12].

Царство: Растения (Plantae)

Отдел: Цветковые (Angiosperms)

Класс: Двудольные (Magnoliopsida)

Порядок: Ясноткоцветные (Lamiales)

Семейство: Подорожниковые (Plantaginaceae)

Род: Подорожник (Plantago)

Вид: Подорожник большой (*Plantago major*)

Подорожник большой - травянистое многолетнее растение семейства подорожниковых. Растение имеет короткое корневище, усаженное тонкими нитевидными корнями. Листья собраны в прикорневую розетку, черешковые, широкоовальной формы. Черешки равны по длине пластинке листа, длиннее её или редко короче.

Цветоносы прямостоячие, при основании восходящие, высотой 15-45 см, тонкобороздчатые, заканчивающиеся длинным прямым соцветием - колосом. Цветки мелкие четырёхчленные, чашелистики по краям плёнчатые, венчик светло-буроватый. Четыре тычинки вдвое длиннее трубки венчика, их нити белые, пыльники - тёмно-лиловые. Цветёт с мая - июня (на севере) до августа - сентября. Плод - многосемянная коробочка.

Подорожник большой встречается по всей территории России, за исключением Арктики и пустынь. Растет как сорное растение вдоль дорог, домов, на пустырях, лугах, по лесным опушкам и берегам водоемов.

Листьях подорожника содержат до 20% пектиновых веществ. В составе полисахаридного комплекса обнаружены пектовая кислота, галактоарабан, галактан. В листьях находятся флавоноиды: лютеополин, апигенин, кверцетин, скутелляреин, гиспидулин, байкалеин, лютеолин и их производные. Также в растении присутствуют иридоидные гликозиды: аукубин (0,37%) и каталпол, сапонины, кумарин эскулетин, горькие, дубильные, стероидные вещества; органические кислоты: бензойная, салициловая, сиреневая и др.; оксикоричные

кислоты: хлорогеновая, коричная, паракумаровая, феруловая, кофейная, сиреневая, ваниловая и др.; аминокислоты, тиразол, эфирное масло, фитонциды, витамины К, С, пантотеновая кислота; макро- и микроэлементы [Чудновская, с. 3-8].

Царство: Растения (Plantae)

Отдел: Цветковые (Angiosperms)

Класс: Однодольные (Liliopsida)

Порядок: Злакоцветные (Poales)

Семейство: Осоковые (Cyperaceae)

Род: Осока (Carex)

Вид: Осока острая (*Carex acuta*)

Осока острая – многолетнее травянистое растение семейства осоковые. Зелёное растение с ползучими корневищами, образующее рыхлые дерновины, иногда образующее кочки. Стебли остроугольные, сильно шероховатые, наверху поникающие, высотой (26-114) см, окружены при основании красновато-бурыми, коричневато-жёлтыми, коричневыми, пурпурными или чёрно-пурпурными влагалищами листьев. Листья плоские 5-8 мм шириной, сухие - по краю завернутые назад, равные стеблю.

Соцветие 9-24 см длиной. Верхние колоски тычиночные, сближенные, продолговатые, 1-5 см длиной, с обратнойцевидными, тупыми, тёмно-бурыми чешуями. Остальные пестичные, обычно многоцветковые, рыхловатые, узкоцилиндрические, 3-7 см длиной. Кроющие чешуи пестичных колосков большей частью ланцетные, обычно длиннее мешочка в 1,5 раза, с одной жилкой, чёрно-бурые, с белым килем. Мешочки двояковыпуклые, немного вздутые, эллиптические или обратнойцевидные, 3 мм длиной, ржавые или буроватые, тонкокожистые, с обеих сторон с 5-6 тонкими жилками, у основания быстро суженные в короткую ножку, с коротким цельным, реже слабовеячатым носиком; носик на верхушке с бурым окаймлением. Плодоносит в мае—августе.

Осока острая встречается на многих территориях субъектов России. Растёт по берегам водоёмов и в воде, на болотистых лугах, низинных осоково-травяных болотах; на равнине и в верхнем поясе гор; часто образует заросли [Алейникова, с. 3-5].

Царство: Растения (Plantae)

Отдел: Цветковые (Angiosperms)

Класс: Однодольные (Liliopsida)

Порядок: Злакоцветные (Poales)

Семейство: Осоковые (Cyperaceae)

Род: Рогоз (Carex)

Вид: Рогоз широколистный (*Typha latifolia*)

Рогоз широколистный - многолетнее травянистое корневищное растение. Корневище толстое, ползучее. Стебель 1-2 м высотой, с невыступающими узлами, цилиндрический. Листья серовато-зелёные, цельнокрайные, линейные до 2 см шириной.

Цветки однополые, очень мелкие, с околоцветником из тонких волосков. Соцветие - цилиндрический початок. Состоит из двух початков, находящихся на верхушке стебля, сверху мужской, ниже женский. Верхушечная часть тычиночная; расположенная ниже - пестичная (от 6 до 13 см длиной и до 2,5 см толщиной, бархатистая утолщённая, от тёмно-коричневой до чёрно-бурой). Пестичная часть обычно прилегает к тычиночной части или отделена от неё промежутком около 5 мм. Цветение в европейской части России в июне-июле. После созревания плодиков соцветия осыпаются.

Рогоз широколистный в России встречается почти на всей территории, кроме Арктики. Растёт по берегам болот и водоёмов, образуя обширные, но самоизреживающиеся заросли, в кюветах, канавах, карьерах, по обочинам дорог [Иллюстрированный определитель растений, с. 336].

## 2.2. Характеристика районов исследования

Материал для исследования был отобран в середине июля 2019 года в течение 5 дней в различных районах города Тюмени на следующих участках (Приложение 1):

- 1) Контроль – берег озера Сундукуль, 24 км от г. Тюмени, расстояние до дороги – 500 метров. Неглубокое болотистое озеро, расположенное в Нижнетавдинском районе Тюменской области. Преобладающие глубины - от 1,5 м до 2 м, но в ямах может достигать до 8 м. С севера, запада и юга водоем окружен болотами. Неподалеку от водоема находятся дачные кооперативы. На берегу озера встречается мусор, но в воде отсутствует. Летом озеро зарастает.
- 2) Район 1 – берег озера Алебашево, расстояние до высокоинтенсивной дороги – 50 метров. Расположено в северной части города в Центральном административном округе. С запада находится автомобильная дорога с интенсивным движением по ул. Алебашевская. Берег озера сильно загрязнен мусором, на поверхности водоема встречается бензиновая пленка.
- 3) Район 2 – берег озера Андреевское. Расположено на юге от границ города (4 км). На западном берегу расположен крупный посёлок Боровской, на восточном - посёлок Андреевский. Северный и южный берега покрыты в основном сосновым лесом, на юге также расположены дачные посёлки. С запада от него на удалении 700 м проходит автомобильная автотрасса с интенсивным движением (Ялуторовский тракт).
- 4) Район 3 – берег озера Круглое. Находится в черте города Тюмени, на окраине парка имени Гагарина. Берега его не обустроены, заросли кустарником, подходы к воде почти невозможны. На восточном берегу расположен судостроительный-судоремонтный завод на удалении 300 м. С запада от него на удалении 500 м проходит автомобильная дорога с интенсивным движением по ул. Мельникайте. Зимой озеро используется как пристань для барж. Район 4 - берег озера Оброчное. Озеро находится

в черте Тюмени, в районе Лесобаза. На данный момент берег озера укреплен георешеткой, которая засыпана щебнем, выше засеяна газонная трава. На севере от него на удалении 20 метров проходит автомобильная дорога с интенсивным движением по ул. Домостроителей. На востоке от него расположены жилые массивы. На берегу водоема встречается мусор. Также озеро Оброчное используется для слива отработанной воды с ТЭЦ-1 и ливневой канализации.

2.3. Методика определения содержания выбросов вредных веществ в выхлопных газах автотранспорта [Методика определения выбросов..., с. 1-16]

Для определения характеристик транспортного потока на отдельных участках дорожной сети транспортные средства, проходящие через них, были подсчитаны по группам в обоих направлениях (легковые, легковые дизельные, грузовые грузоподъемностью менее 3 тонн и микроавтобусы, грузовые грузоподъемностью более 3 тонн, автобусы, грузовые дизельные).

Расчет транспортных средств, проходящих через выбранный участок автомагистрали транспортных средств проводился в течение 20 минут каждого часа (всего 3 часа 20 минут). Полевые исследования состава и интенсивности движущихся транспортных потоков проводили не менее 5 раз в часы «пик» (18-20 часов) летнего сезона года на каждом участке обследованной дороги. При высокой интенсивности движения (более 2 - 3 тыс. автомашин в час) подсчет проходящих автотранспортных средств проводился синхронно отдельно по каждому направлению движения [Методика определения выбросов..., с. 1-16].

#### 2.4. Методика постановки эксперимента

В исследовании использовались растения четырех видов клевер ползучий (*Trifolium repens*), подорожник большой (*Plantago major*), осока острая (*Carex acuta*), рогоз широколистный (*Typha latifolia*). Участки исследования: озера Алебашево, Андреевское, Круглое, Оброчное, Сундукуль. Выбранные тест-объекты обладают высокой чувствительностью к веществам, загрязняющим почву и атмосферу. Сбор прибрежных растений был выполнен в июле 2019 года. Оценка биохимических показателей проводилась в ИнБио ТюмГУ. На

каждом участке было собрано не менее 100 растений одного вида. Растения собирались на берегу озер на расстоянии до 5 метров.

После сбора объекты исследования высушивались, а часть их подвергалась заморозке (около 20 г растительного материала). Высушенные растения использовались для оценки продуктов перекисного окисления липидов – основания Шиффа и диеновых конъюгатов. Замороженные растения использовались для оценки продукта антиоксидантной защиты - каталазы.

В исследовании для определения содержания основания Шиффа, диеновых конъюгатов и каталазы использовались методики, предложенные Шведовой А.А. и Полянским Н.Б. [Корнилов, Петухова, с. 24-30]. Используемые методы: спектрофотометрия (для основания Шиффа и диеновых конъюгатов), колориметрия (для каталазы).

#### 2.4.1. Определение содержания шиффовых оснований в растительном материале [Шведова, Полянский, с. 72-73]

Измельченную навеску растительного материала с небольшим количеством  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  помещали в пробирку, добавляли 4 мл смеси гептан-изопропанол (1:1) и встряхивали в течение 10 минут. Затем добавляли 1 мл раствора  $\text{HCl}$  и 2 мл чистого гептана. Снова встряхивали и отстаивали в течение 20 минут. После этого отбирали верхний слой, измеряли оптическую плотность образцов и чистого гептана при длине волны 365 Нм на спектрофотометре по "контрольной" пробе, которая готовится также, как и опытная, но вместо навески добавляется равный объем воды. Концентрация основания Шиффа рассчитывали по формуле:

$$C = D_0 - D_p, \quad (2.1)$$

где  $D_0$  - оптическая плотность образцов,  $D_p$  - оптическая плотность чистого гептана.

#### 2.4.2. Спектрофотометрическое определение содержания диеновых конъюгатов в растениях [Шведова, Полянский, с. 72-73]

Измельченную навеску растительного материала с небольшим количеством  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  помещали в пробирку, добавляли 4 мл смеси гептан-

изопропанол (1:1) и встряхивали в течение 10 минут. Затем добавляли 1 мл раствора HCl и 2 мл чистого гептана. Снова встряхивали и отстаивали в течение 20 минут. После этого отбирали верхний слой, измеряли оптическую плотность образцов и чистого гептана при длине волны 233 Нм на спектрофотометре по "контрольной" пробе, которая готовится также, как и опытная, но вместо навески добавляется равный объем воды.

Расчет содержания диеновых конъюгатов производили по формуле:

$$C = (A_{233} * V_{\text{эг}}) : V_{\text{эм}} = (A_{233} * 4) : 0,2, \quad (2.2)$$

где  $A_{233}$  – значение оптической плотности опытной пробы при 233 нм,  $V_{\text{эг}}$  – конечный объем гептанового экстракта,  $V_{\text{эм}}$  – объем взятого экстракта растений.

#### 2.4.3. Определение активности каталазы в растениях колориметрическим методом [Шведова, Полянский, с. 42-43]

Экстракт готовили путем гомогенизации 0,5 г растительного материала с небольшим количеством кварца и дистиллированной воды. Затем полученную массу перенесли в мерную колбу на 25 мл и довели до метки дистиллированной водой, затем фильтровали экстракт.

Метод, определяющий активность каталазы, основан на способности пероксида водорода образовывать с солями молибдена стойкий окрашенный комплекс. В опыте использовали холостую, контрольную и опытные пробы. В каждую пробу вносили 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 прибавляли по 0,1 мл экстракта растительного материала. Спустя 10 минут добавляли 1 мл 4% р-ра молибдата аммония во все пробирки, после этого в холостую пробу приливали 0,1 мл экстракта. Измеряли оптическую плотность образцов при длине волны 410 Нм на спектрофотометре против контрольной пробы. Активность каталазы рассчитывали по формуле:

$$E = (A_{\text{хол}} - A_{\text{оп}}) * V * t * K, \quad (2.3)$$

где  $E$  – активность каталазы,  $A_{\text{хол}}$  и  $A_{\text{оп}}$  – экстинкция холостой и опытной



проб,  $V$  - объем вносимой пробы,  $t$  - время инкубации,  $K$  - коэффициент миллимолярной экстинкции  $H_2O_2$ .

#### 2.4. Методы математической обработки

Статистическую обработку данных проводили при помощи пакета прикладных программ Statistical Package for the Social Science (SPSS Inc, ver 20.0) с использованием общепринятых методов математической статистики. Для обнаружения различий в количественных переменных нормального распределения и относительных величин достоверности разности долей использовали  $t$ -критерий Стьюдента.  $t$ - критерий Стьюдента сравнивали с теоретическими рассчитанным  $t$  – критерием, который определили по специальным таблицам [Гашев, Бетляева, Лупинос, с. 1-36]. Различия считали достоверными на первом уровне значимости ( $p < 0,05$ ).

### ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

В г. Тюмени загрязнение водных объектов является результатом антропогенной деятельности. Также они становятся резервуарами для мусора и источником заболеваний, так как озера используются для рыбной ловли и для рекреационных целей.

В таблице 1 представлены источники загрязнения для каждого исследуемого водоема. Автомобильный транспорт является одним из основных источников вредных веществ для водоемов (Таблица 1). На озеро Круглое помимо автотранспорта действует и другой фактор – деятельность судостроительно-судоремонтного завода, который использует озеро в качестве пристани для барж. Другим водным объектом, подверженному влиянию нескольких факторов, является озеро Оброчное, которое используется для слива отработанной воды с ТЭЦ-1 и ливневой канализации. Для озера Сундукуль характерно низкая интенсивность автомобильного движения и малое количество мест для использования в качестве рекреации. Для всех озер, кроме Сундукуль, характерно большое количество мусора на берегу и в воде.

Таблица 1

Источники загрязнения исследуемых водоёмов

Водный объект	Транспорт	Наличие промышленных предприятий	Канализационные и сточные воды	Наличие мусора
Сундукуль	А	-	-	+/-
Алебашево	А	-	+	+
Андреевское	А	-	+	+
Круглое	А РТ	ССЗ	+	+
Оброчное	А	ТЭЦ-1	+	+

Примечание: А-автотранспорт, РТ-речной транспорт, ССЗ – судостроительно-судоремонтный завод, ТЭЦ – теплоэлектроцентраль

Как было указано выше, автомобильный транспорт является основным источником загрязнения водных объектов, но помимо этого загрязняет также атмосферу. Выхлопные газы автотранспорта представляют собой сложную смесь, состоящую из 200 различных веществ. Преобладающими среди них являются углеводороды. В процесс работы двигателя внутреннего сгорания не всегда происходит полное их разложение (сгорание). Причем, их доля резко возрастает при разгоне и торможении. Д.С. Аймуханов подчеркивает, что в таком случае доля не полностью сгоревших углеводородов в 10 раз больше, чем при работе двигателя в обычном режиме. К несгоревшим газам относят угарный газ. В среднем, в выхлопных газах автотранспорта содержится 2,7% оксида углерода, тогда как при резком снижении скорости может достигать 6,9%. Углекислый, угарный и другие газы, выделяющиеся при работе двигателя внутреннего сгорания, тяжелее воздуха. Поэтому для них характерно скопление у земли и в воде [Аймуханов, с. 18-22].

Таблица 2

## Содержание химических элементов в выхлопных газах автотранспорта

Химический элемент	Бензиновый двигатель	Дизельный двигатель
N <sub>2</sub>	74-77%	76-78%
H <sub>2</sub> O (пары)	3,0-5,5%	0,5-4,0%
CO <sub>2</sub>	0,1-16%	1,0-10%
CO	0,1-5,0%	0,01-0,5%
Оксид азота	0,1-0,8%	0,1-0,5%
Углеводороды	0,2-3,0%	0,1-0,5%
Альдегиды	0,1-0,2%	0,001-0,009%
Сажа	0,01-0,04%	0,01-1,10%

Качественный и количественный состав отработавших газов зависит от многих факторов: типа двигателя (бензиновый, дизельный или газобаллонный), особенностей его конструкции и технического состояния, мощности двигателя и действующей нагрузки на вал, качества применяемого топлива, системы зажигания, топливной системы и т.д. (Таблица 2). Э.Г. Абдурахманова также

подчеркивает роль тяжелых металлов, образующихся при работе двигателя автомобиля и представленных в качестве компонентов сажи и пыли [Абдурахманова, с. 55-57].

По данным департамента дорожной инфраструктуры и транспорта администрации г. Тюмени количество зарегистрированных автомобилей в 2019 году составляет более 385 тысяч (не включая транзитный транспорт и мотоциклы). Причем характерно ежегодное увеличение количества автотранспорта на 9-21 тысячу машин в год [Департамент дорожной инфраструктуры и транспорта Тюмени].

По формуле, предложенной Госкомэкологии России, была составлена таблица 3 [Методика определения выбросов..., с. 1-16].

Таблица 3

Концентрация вредных вещества выхлопных газов автотранспорта

Водоёмы	СО мг/м <sup>3</sup>	NO мг/м <sup>3</sup>	Углеводороды мг/м <sup>3</sup>	Сажа мг/м <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> мг/м <sup>3</sup>	Суммарная масса, в г/сек
ПДК	3,0	0,06	1,5	0,05	0,05	4,66
Сундукуль	0,211	0,027	0,034	0,00009	0,00124	0,2733
Алебашево	3,471	1,124	0,486	0,00898	0,03769	5,1277
Андреевское	2,946	1,001	0,225	0,00411	0,01936	4,1955
Круглое	2,011	0,546	0,337	0,00699	0,02311	2,9241
Оброчное	1,442	0,789	0,336	0,00518	0,01984	2,5920

В составе показателей (вредных веществ) пробеговых выбросов автотранспорта основными являются угарный газ, окись азота, углеводороды, диоксид серы. Наибольшее значение в структуре выхлопных газов занимает угарный газ (Таблица 3).

По результатам, приведенным в таблице, видно, что суммарные выбросы автотранспорта больше всего наблюдаются на улице Алебашевская (5,1 г/сек), на Ялуторовском тракте (4,2 г/сек). Данные результаты связаны с тем, что

улицы имеют интенсивное автомобильное движение с достаточно большим количеством грузового транзитного транспорта.

Средние суммарные выбросы автотранспорта характерны для двух озер – Круглое (2,9241 г/сек) и Оброчное (2,5920 г/сек). С запада от озера Круглое проходит автомобильная дорога с интенсивным движением по ул. Мельникайте, но на момент определения характеристик автотранспортных потоков происходил ремонт на выбранном участке улично-дорожной сети, что существенно повлияло на результаты. Суммарные выбросы автотранспорта по озеру Оброчное связаны с тем, что интенсивность движения автотранспорта в жилых массивах минимальна и для улиц, расположенных недалеко от водного объекта, не характерна высокая интенсивность транспорта.

Минимальные суммарные выбросы автотранспорта наблюдаются на береговой территории озера Сундукуль (0,2733 г/с), что связано с отсутствием дороги. Это позволяет использовать данный водный объект как условный контроль.

По результатам таблицы 3 можно сделать выводы, что наибольшему негативному влиянию автотранспортом подвержены: озеро Алебашево и Андреевское. В эти водные объекты попадает большое количество тяжелых металлов и атмосферных осадков, которые содержат оксиды серы и азота. Для тяжелых металлов характерно канцерогенное действие при попадании в организм. Оксиды серы и азота при растворении в воде способствуют изменению ее рН в кислую сторону, что приводит к обеднению почвы берега и водоема микроэлементами.

Антропогенная деятельность приводит к изменению биохимических показателей растений. Поллютанты влияют на процессы перекисного окисления липидов, способствуя накоплению в растительных тканях АФК и вызывая окислительный стресс. Главными показателями повреждения клеточных мембран в результате окислительных процессов являются продукты ПОЛ – диеновые коъюгаты и основание Шиффа. Стоит заметить, что степень

поврежденности клеток зависит от концентрации поллютанта и длительности воздействия.

Подорожник большой из прибрежных зон озер Алебашево, Андреевское, Круглое и Оброчное содержит диеновых конъюгатов больше ( $p < 0,05$ ), чем подорожник из береговой зоны озера Сундукуль (Рис. 1). Такая высокая концентрация первичных продуктов ПОЛ, возможно, связана с неблагоприятными факторами (загрязнение), которые оказали сильное воздействие на растительные клетки [Петухов, 2018, с. 84]. Высокая концентрация продуктов диеновых конъюгатов у подорожника с загрязненных озер по сравнению с контрольным свидетельствует о высокой чувствительности процессов ПОЛ, протекающих в подорожнике к антропогенному загрязнению.

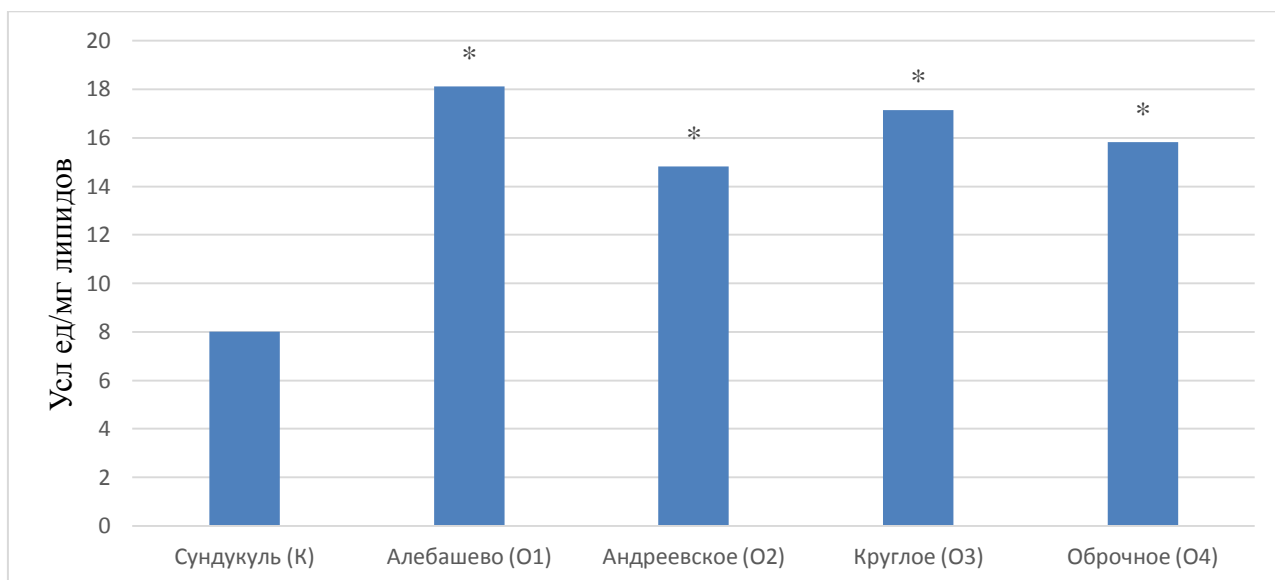


Рис. 1. Содержание диеновых конъюгатов в подорожнике большом исследуемых районах. Примечание: \* - статистически достоверные различия, при  $p < 0,05$

Анализ концентрации оснований Шиффа в подорожнике большом береговой зоны исследуемых водоемов показал, что во всех растениях из загрязненных водоемов его концентрация выше, чем в подорожнике из прибрежного района озера Сундукуль ( $p < 0,05$ ) (Рис. 2). Возможно, это объясняется тем, что в условиях стресса антиоксидантные системы слабо активизируются и не способствуют ликвидации избытка АФК.

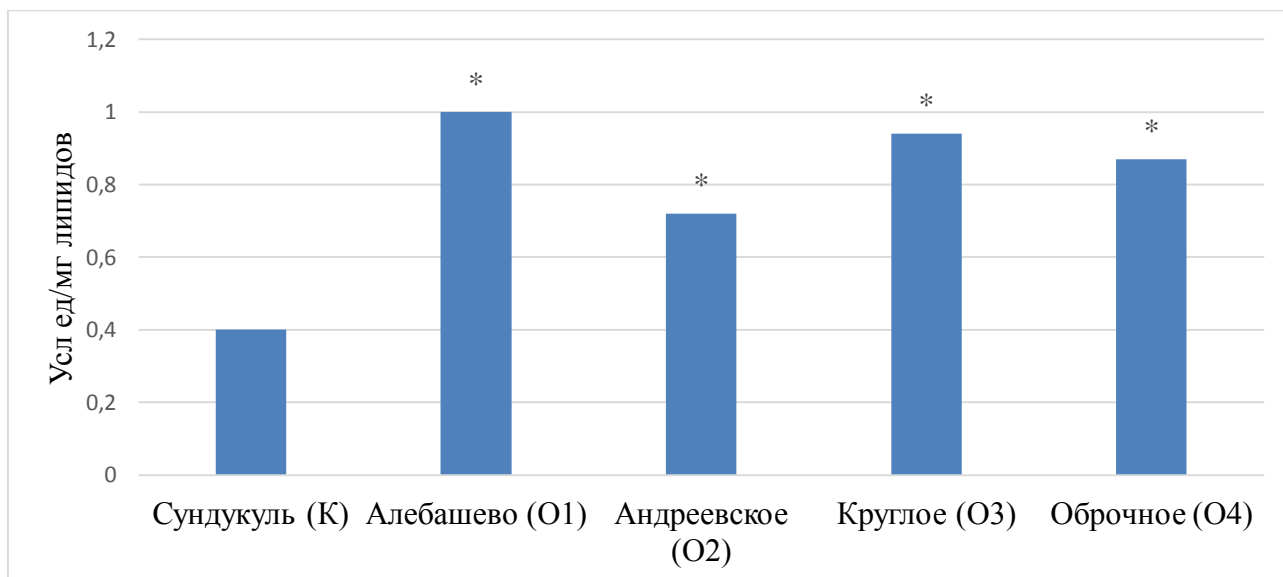


Рис. 2. Содержание оснований Шиффа в подорожнике большом исследуемых районах. Примечание: \* - статистически достоверные различия, при  $p < 0,05$

Содержание диеновых конъюгатов в клевере ползучем из береговых зон всех исследуемых водоемов было выше ( $p < 0,05$ ), чем в клевере береговой зоны озера Сундукуль (Рис. 3).

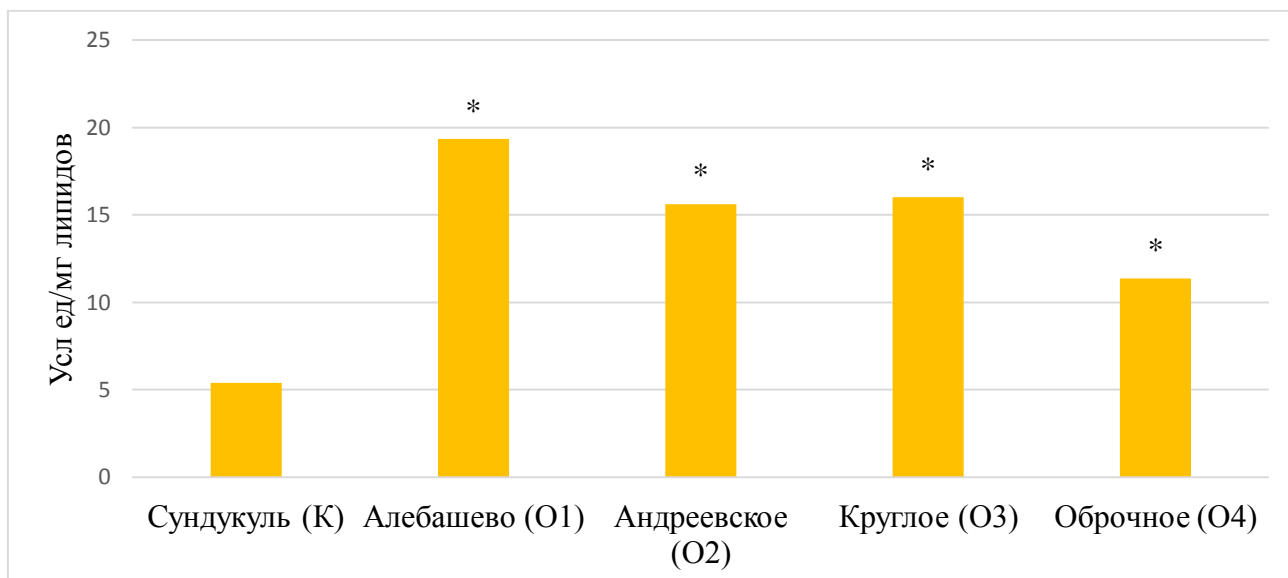


Рис. 3. Содержание диеновых конъюгатов в клевере ползучем исследуемых районах. Примечание: \* - статистически достоверные различия, при  $p < 0,05$

Наибольшая концентрация продуктов ПОЛ была зафиксирована на двух районах исследования – Алебашево и Круглое: содержание диеновых конъюгатов было повышено в 3,6 и 3 раз соответственно. Полученные

результаты отображают высокую чувствительность клевера к антропогенному загрязнению.

Содержание оснований Шиффа в клевере из прибрежно-водных зон загрязненных озер было выше ( $p < 0,05$ ), чем в клевере береговой зоны озера Сундукуль (Рис. 4).

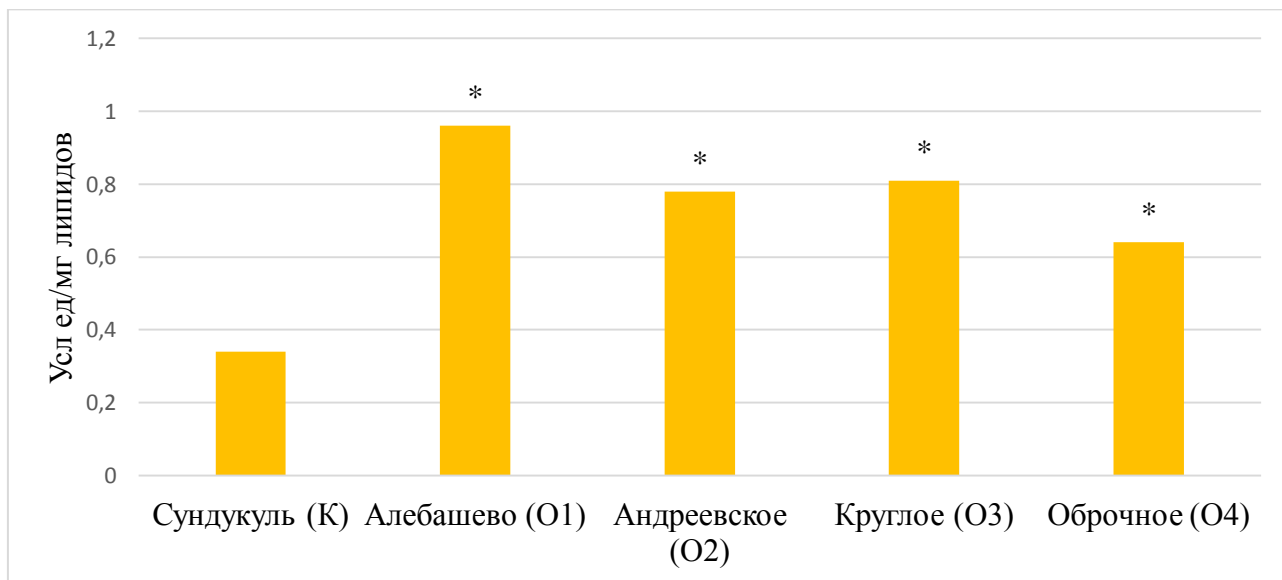


Рис. 4. Содержание оснований Шиффа в клевере ползучем исследуемых районах. Примечание: \* - статистически достоверные различия, при  $p < 0,05$

Из рисунка 4 видно, что наименьшая концентрация оснований Шиффа среди загрязненных водоемов характерна для озера Круглое, что может объясняться высокой повреждаемостью растительных клеток под действием поллютантов.

Рогоз широколистный из прибрежных зон озер Алебашево, Андреевское, Круглое и Оброчное содержит диеновых конъюгатов больше ( $p < 0,05$ ), чем подорожник из береговой зоны озера Сундукуль (Рис.5).

Несмотря на разный тип загрязнения исследуемых водоемов, по концентрации диеновых конъюгатов в рогозе можно судить о степени его высокой чувствительности к техногенным и естественным условиям.



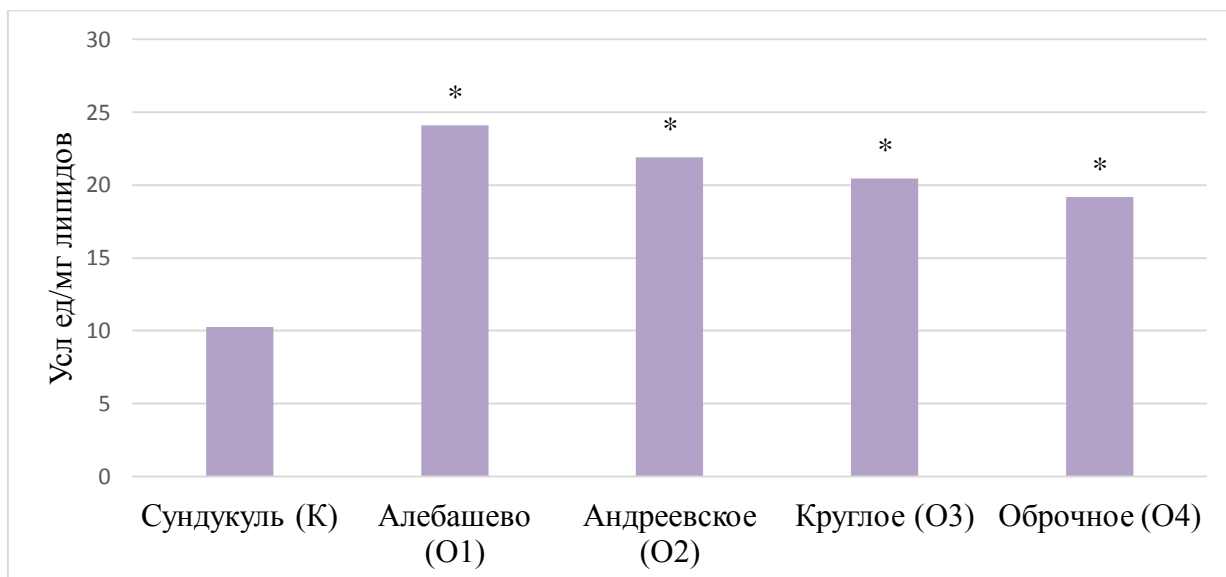


Рис. 5. Содержание диеновых конъюгатов в рогозе широколистном исследуемых районах. Примечание: \* - статистически достоверные различия, при  $p < 0,05$

Содержание оснований Шиффа в рогозе из прибрежно-водных зон загрязненных озер было выше ( $p < 0,05$ ), чем в рогозе береговой зоны озера Сундукуль (Рис. 6).

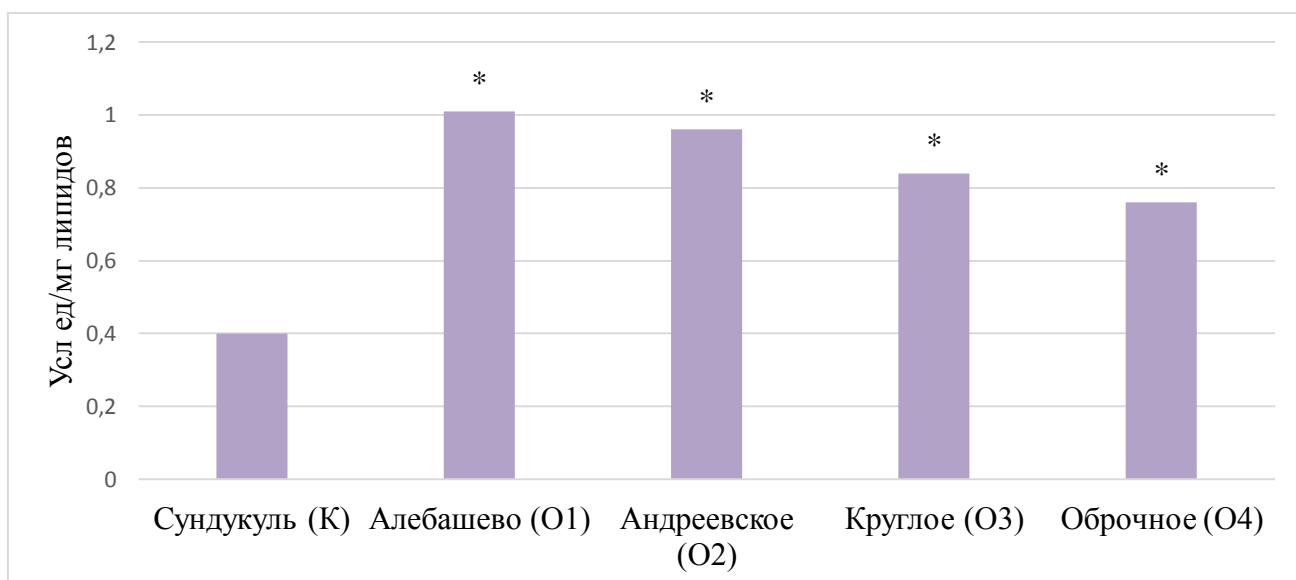


Рис. 6. Содержание оснований Шиффа в рогозе широколистном исследуемых районах. Примечание: \* - статистически достоверные различия, при  $p < 0,05$

Высокая концентрация диеновых конъюгатов свидетельствует о высокой чувствительности к неблагоприятным факторам. Высокая концентрация

оснований Шиффа объясняется низкой способностью организма к адаптации к данным факторам, так как повышение уровня гидроперекиси способствует активации антиоксидантных систем. Они содействуют сдерживанию процессов окисления, но могут приводить и к истощению организма [Van Ruyskensvelde, Van Breusegem, Van Der Kelen, с. 191-192, Немерешина, Гусев, Карпюк, с. 46].

Содержание диеновых конъюгатов в осоке острой из береговых зон всех исследуемых водоемов было выше ( $p < 0,05$ ), чем в осоке острой зоны озера Сундукуль (Рис. 7). В осоке из прибрежных зон исследуемых водоёмов защитные системы полностью не компенсируют негативное влияние комплексной техногенной нагрузки и естественных условий.

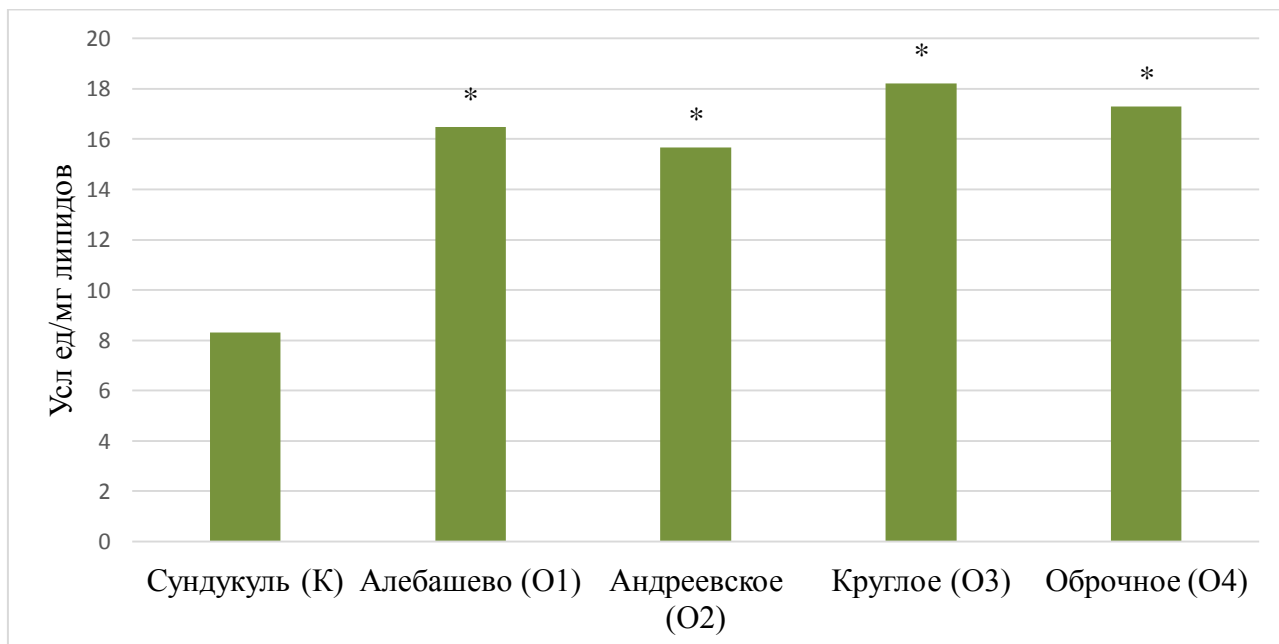


Рис. 7. Содержание диеновых конъюгатов в осоке острой исследуемых районах.

Примечание: \* - статистически достоверные различия, при  $p < 0,05$

По рисунку 7 видно, что наибольшая концентрация диеновых конъюгатов характерна для районов исследования озеро Круглое и Оброчное. Это связано с тем, что данные водные объекты активно используются в промышленной деятельности, то есть можно судить о том, что в данных водоемах превышена концентрация тяжелых металлов по сравнению с ПДК. Показана интенсификация ПОЛ при действии ароматических углеводородов и металлов [Дайнеко, Тимофеев, Жадько, с. 132, Перекисное окисление липидов..., с. 211-212, Yang, Shah, Klessig, с. 1637-1639].

Анализ концентрации основания Шиффа в осоке острой береговой зоны исследуемых водоемов показал, что во всех растениях из опытных водоемов его концентрация выше, чем в осоке из прибрежного района озера Сундукуль ( $p < 0,05$ ) (Рис. 8).

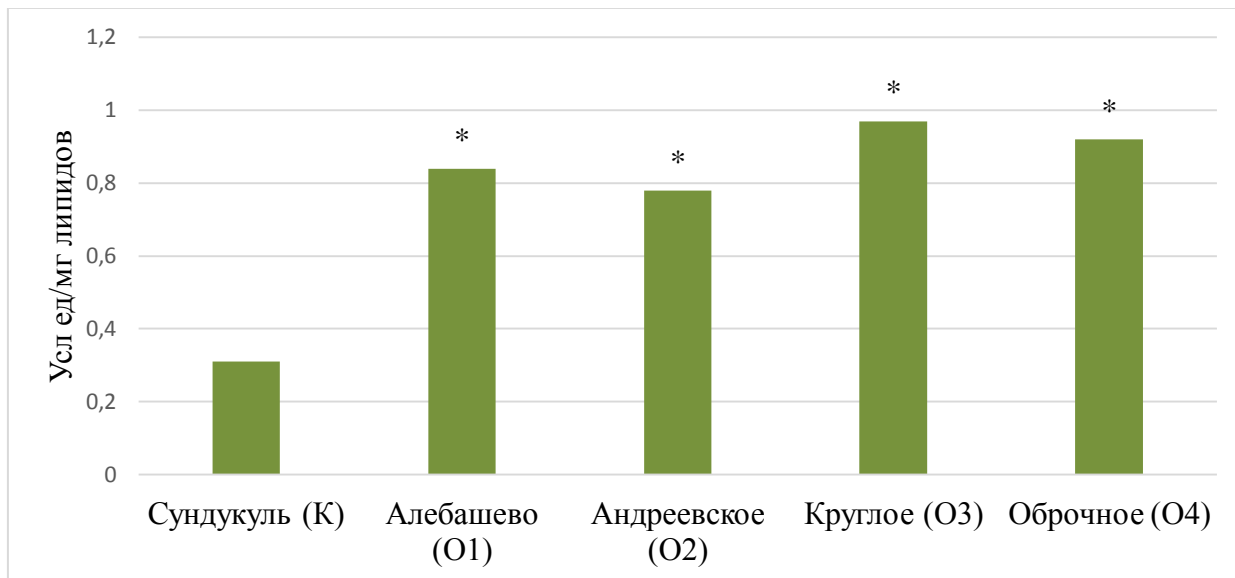


Рис. 8. Содержание оснований Шиффа в осоке острой исследуемых районах. Примечание: \* - статистически достоверные различия, при  $p < 0,05$

Повышение концентрации основания Шиффа у осоки из водоемов, подверженных антропогенному влиянию, возможно, связано с невысоким уровнем антиоксидантной защиты в ответ на комплексные неблагоприятные факторы, и это приводит к большому образованию конечных продуктов ПОЛ. Повышение их содержания может быть связано также и с тем, что «липидный резерв» организма дал большое количество субстрата для развития реакций ПОЛ [Нельсон, Кокс, с. 457].

Таким образом, при антропогенном влиянии исследуемые растения вблизи исследуемых водоёмов не увеличили устойчивость к комплексу неблагоприятных факторов (Приложение 2, 3). Баланс процессов ПОЛ и антиоксидантной защиты отражает адаптационные возможности живых систем, их чувствительность к изменяющимся условиям обитания.

Каталаза играет роль в защите от токсического воздействия АФК, поскольку она участвует в нейтрализации перекиси водорода. Этот фермент минимизирует внутриклеточные концентрации супероксидных анионов и

пероксидов и не реагирует с образованием гидроксильных анионов. Однако, поскольку каталаза имеет низкое сродство к перекиси водорода, она начинает функционировать только в больших количествах в клетках [Петухов, 2019, с. 91]. В связи с этим каталаза отсутствует во многих клеточных компартментах и требует других ферментов, участвующих в детоксикации перекиси водорода для функционирования. Кроме того, под действием ультрафиолетовых лучей наблюдается увеличение активности каталазы, но при хронических ультрафиолетовых лучах антиоксидантное защитное действие подавляется [Багдасарян, с. 36-37].

Анализ активности каталазы в подорожнике большом береговой зоны исследуемых водоемов показал, что во всех растениях из опытных водоемов его концентрация выше, чем в подорожнике из прибрежного района озера Сундукуль ( $p < 0,05$ ) (Рисунок 9).

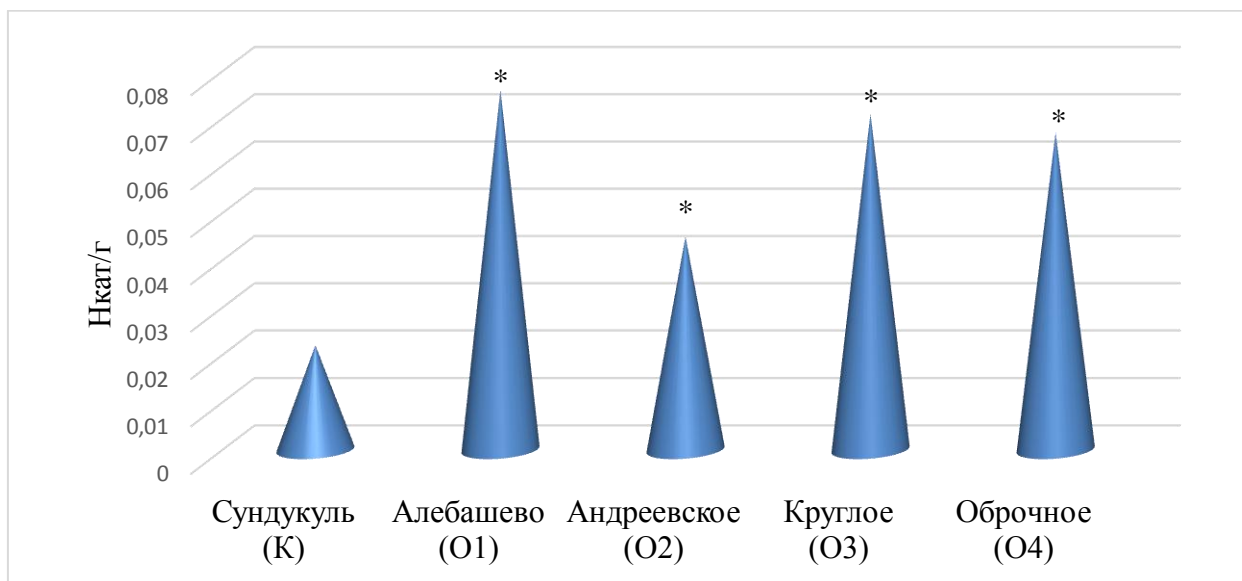


Рис. 8. Активность каталазы в подорожнике большом исследуемых районах. Примечание: \* - статистически достоверные различия, при  $p < 0,05$

Наименьшая активность каталазы среди исследуемых опытных водоемов наблюдается в подорожнике большом береговой зоны озера Андреевское, что, возможно, связано с низкой концентрацией перекиси водорода.

Активность каталазы в листьях клевера ползучего береговой зоны опытных озер выше активности каталазы в листьях клевера ползучего контрольного водоёма (озеро Сундукуль) ( $p < 0,05$ ) (Рис. 9).

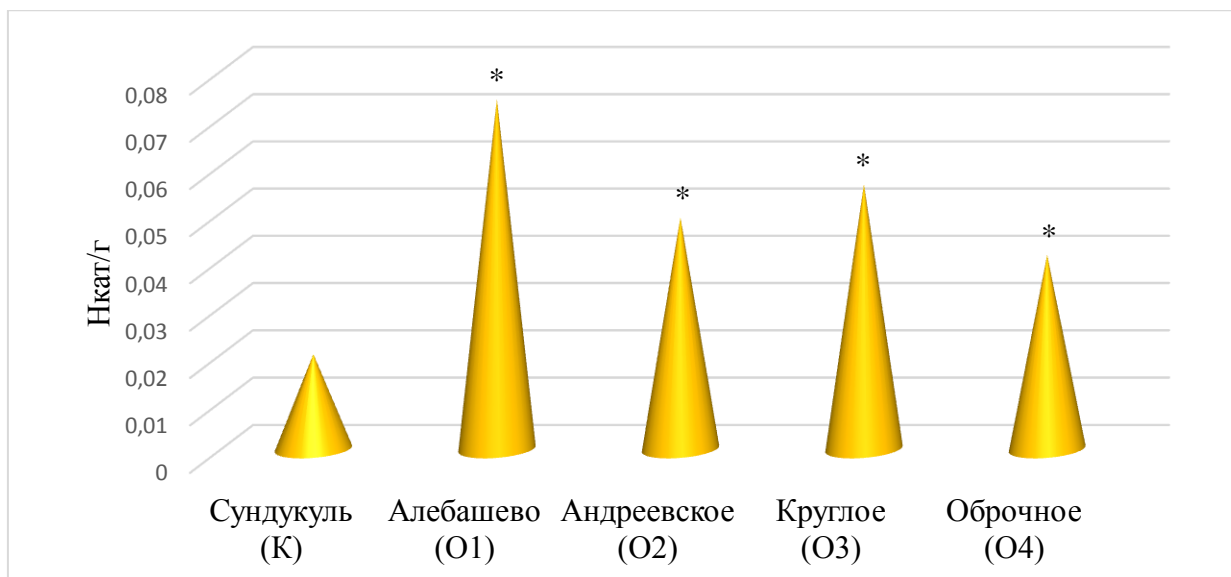


Рис. 9. Активность каталазы в клевере ползучем исследуемых районах.  
Примечание: \* - статистически достоверные различия, при  $p < 0,05$

Высокая активность каталазы в клевере вблизи загрязненных водоемов, возможно, связана с аккумуляцией тяжелых металлов в растениях, так как они могут опосредованно повреждать структуры ферментов, участвующих в реакциях ПОЛ [Foyer, с. 138].

Анализ полученных результатов показал, что активность каталазы в листьях рогоза из береговых зон всех исследуемых водоёмов выше, чем в подорожнике береговой зоны озера Сундукуль (при  $p < 0,05$ ) (Рис. 10).

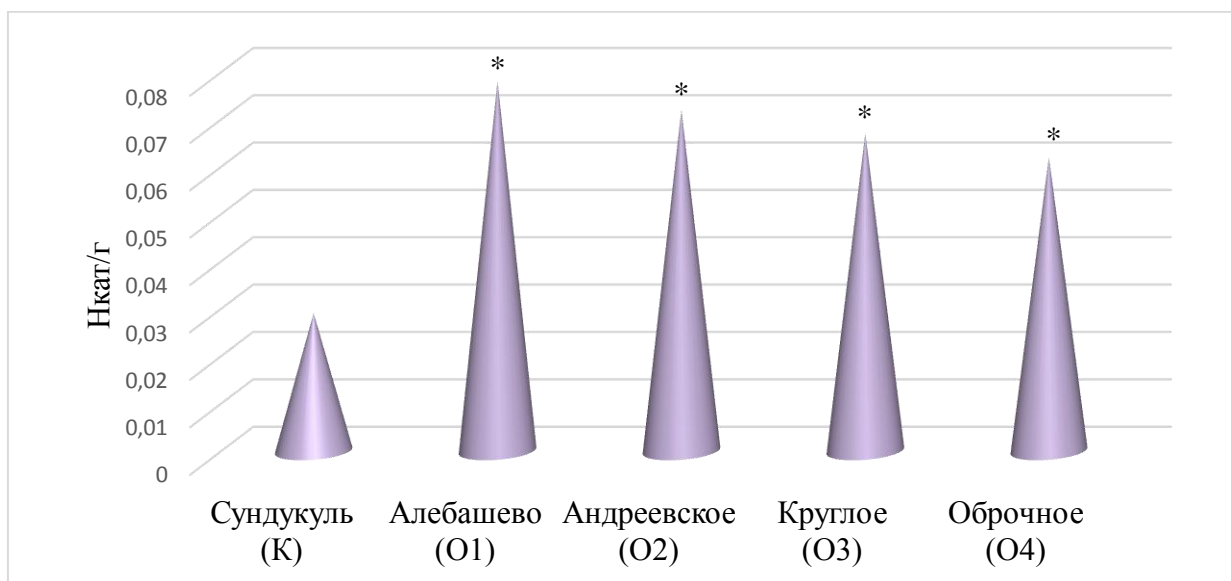


Рис. 10. Активность каталазы в рогозе широколистном исследуемых районах.  
Примечание: \* - статистически достоверные различия, при  $p < 0,05$

Повышение активности каталазы может быть вызвано поступающими в клетки растений токсикантами. Они могут связываться с функциональными группами аминокислот, входящих в состав фермента, что может привести к изменению их ферментативной активности [Alche, с. 18-19].

Анализ активности каталазы в осоке острой береговой зоны исследуемых водоемов показал, что во всех растениях из опытных водоемов его концентрация выше, чем в осоке из прибрежного района озера Сундукуль ( $p < 0,05$ ) (Рис. 11).

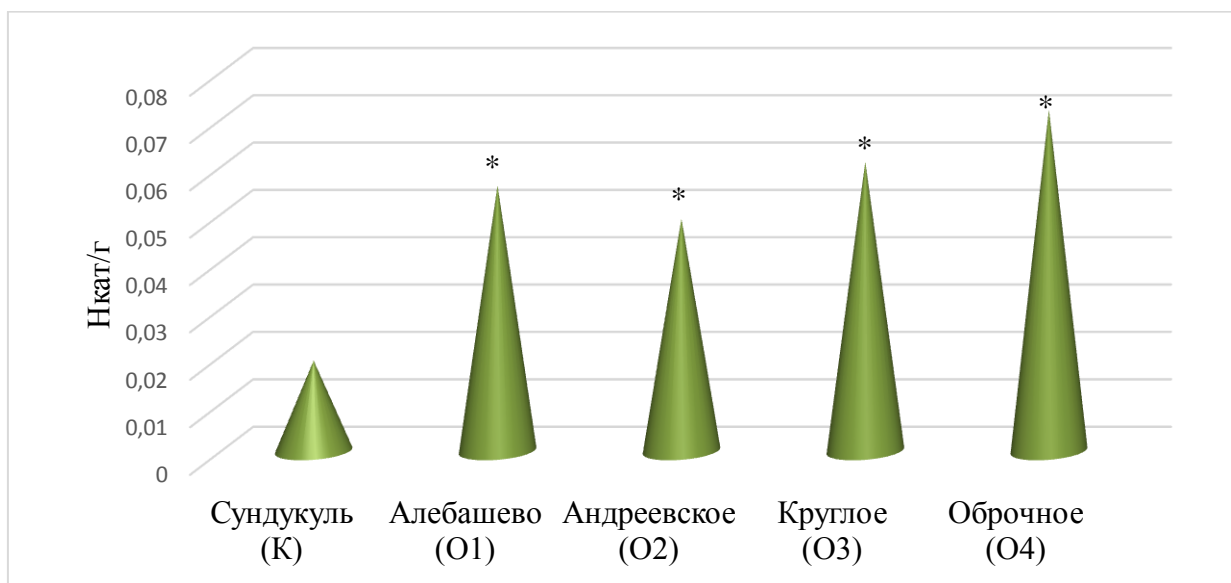


Рис. 11. Активность каталазы в осоке острой исследуемых районах.

Примечание: \* - статистически достоверные различия, при  $p < 0,05$

Повышение каталазной активности связано со стрессом растений исследуемых водоёмов. Стресс растений проявляется в ответ на техногенное загрязнение. Развитие хронического загрязнения водоёмов приводит к отбору наиболее адаптированных к нему популяций и увеличению активности каталазы в организмах [Foyer, с. 141-142].

По результатам представленных данных видно, что выбранные растения оказались чувствительными к антропогенному загрязнению (Приложение 4). Наименее загрязненным водным объектом оказалось озеро Андреевское. Наиболее загрязненными являются озера Алебашево, Круглое и Оброчное. Таким образом, все исследуемые растения вблизи водных объектов водоёмов показали видоспецифическую ответную реакцию.

## ВЫВОДЫ

1. Под действием поллютантов у всех растений вблизи исследуемых водоёмов повышались продукты ПОЛ - диеновые конъюгаты ( $p < 0,05$ ) и основания Шиффа ( $p < 0,05$ ). Это объясняется длительным антропогенным воздействием на водные объекты.

2. Под влиянием комплекса антропогенных факторов у береговых растений из исследуемых районов была повышена активность каталазы ( $p < 0,05$ ), что отображает влияние поллютантов на систему антиоксидантной защиты.

3. По результатам анализа продуктов ПОЛ и антиоксидантной защиты в растениях вблизи исследуемых водоемах была показана видоспецифическая ответная реакция на антропогенное загрязнение. Все исследуемые растения оказались чувствительными к действию поллютантов.

4. Все исследованные водоемы могут быть отнесены к категории «загрязненные» водные объекты и проранжированы по степени убывания в ряду: оз. Алебашево, оз. Круглое, оз. Оброчное и оз. Андреевское.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Alche J.D. A concise appraisal of lipid oxidation and lipoxidation in higher plants // *Redox Biol.* 2019. № 1. P. 16-30.
2. Bolwell G. P. Role of active oxygen species and NO in plant defence responses // *Cur. Opin. Plant Biol.* 2009. № 4. P. 287-294.
3. Erofeeva E.A. Dependence of Guaiacol Peroxidase Activity and Lipid Peroxidation Rate in Drooping Birch (*Betula pendula* Roth) and Tillet (*Tilia cordata* Mill) Leaf on Motor Traffic Pollution Intensity // *Dose Response.* 2015. № 2. P. 56-63.
4. Foyer Ch. Reactive oxygen species, oxidative signaling and the regulation of photosynthesis // *Environm. Exp. Bot.* № 5. P. 134-142.
5. Lamb C., Dixon R. The oxidative burst in plant disease resistanse // *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology.* 2007. № 4. P. 251-275.
6. Marnett L.J. Lipid peroxidation-DNA damage by malondialdehyde // *Mutat. Res.* 2009. № 4. P. 83-95.
7. Mittler R. Oxidative stress, Antioxydants and stress tolerance // *Trends Plant Sci.* 2012. № 7. P. 405-409.
8. Nitric oxide is a novel component of abscisic acid signaling in stomatal guard cells / S. J. Neill, D. Desikan, A. Clarke [et al] // *Plant Physiol.* 2012. № 8. P. 13-16.
9. Nitric oxide protects sunflower leaves against Cdinduced oxidative stress / N. Laspina, M. Groppa, M. Tomaro [et al] // *Plant Sci.* 2015. № 16. P. 323-330.
10. Noctor G., Reichheld J.P., Foyer C.H. ROS-related redox regulation and signaling in plants // *Cell Dev. Biol.* 2018. № 3. P. 3-12.
11. № ТО-199. СВ-120-14. Схема водоснабжения и водоотведения Московского муниципального образования Тюменского района Тюменской области. Тюмень: 2014, 75 с.
12. Reactive oxygen species, abiotic stress and stress Combination / F.K.



Choudhury, R.M. Rivero, E. Blumwald [et al]. The Plant Journal. 2017. № 5. С. 90-97.

13. Sheng Q. Effects of Nitrogen Dioxide on Biochemical Responses in Garden Plants // Plants (Basel). 2019. № 2. P. 76-90.

14. The Role of Active Oxigenspecies in Plant Signal Transduction / F. Van Breusegem, E. Vranova, J. Dat [et al] // Plant Sci. 2011. № 6. P. 405-414.

15. Van Ruyskensvelde V., Van Vreusegem F. Van Der Kelen F. Post-transcriptional regulation of the oxidative stress response in plants // Free Rad. Biol. Med. 2018. № 1. P. 181–192.

16. Yang Y, Shan J. Klessig D.F. Signal perception and transduction in plant defence responses //Gene & Development. 2017. № 11. P. 1621-1639.

17. Zhang J., Xingyi L., Zhou L. Analysis of effects of a new environmental pollutant, bisphenol A, on antioxidant systems in soybean roots at different growth stages // Sci Rep. 2016 № 6. P. 23-34.

18. ZNAK. URL: <https://www.znak.com> (дата обращения: 17.04.2020).

19. Абдурахманова Э.Г. Влияние выхлопных газов на организм человека // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2015. № 1. С. 53-57.

20. Абросимова О.В., Троянская Е.С., Меркулова М.Ю. Оценка экологического состояния почвенного покрова г. Саратова // Поволжский экологический журнал. 2012. № 4. С. 376-384.

21. Аветисян А.А., Колесников В.А. Аветисян А.Т. Содержание тяжелых металлов в почвах и растениях нетрадиционных кормовых культур и их эколого-токсикологическая оценка в лесостепи Восточной Сибири // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2017. № 6. С. 17-27.

22. Аймуханов Д.С. Проблема очистки выхлопных газов // Наука и техника Казахстана. 2006. № 1. С. 18-22.

23. Алейникова Л.В. К изучению репродуктивных побегов осок Центрального Предкавказья // Приволжский научный вестник. 2011. № 1. С.

3-5.

24. Аргучинцева А.В., Аргучинцев В.К., Вологжина С.Ж. Тенденции и уровень решения проблемы оценки загрязнения атмосферы // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2009. № 2. С. 20-36.

25. Багдасарян А.С. Активность каталазы тест-растений как индикаторный признак при биотестировании почв // Успехи современного естествознания. 2006. № 1. С. 34-40.

26. Берсенева А.Г. Содержание тяжелых металлов в почвах на территориях промышленных предприятий города Тюмени // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 6. С. 41-44.

27. Бобренко Е.Г., Рослякова А.Н. Источники загрязнения экосистемы озера в черте города // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2018. № 3. С. 1-11.

28. Брюханов А.Ю., Кондратьев С.А., Обломкова Н.С. Методика определения биогенной нагрузки сельскохозяйственного производства на водные объекты // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2016. № 89. С. 175-182.

29. Брюханов, А.Ю., Кондратьев С.А., Васильев Э.В. Оценка сельскохозяйственной биогенной нагрузки, сформированной на речных водосборах бассейна Куйбышевского водохранилища // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2016. № 96. С. 175-185.

30. Бубис О.Е. Водные растения и их экологическая роль // Научный вестник ЛНУВМБТ имени С.З. Гжицкого. 2015. № 1. С. 226-232.

31. Видякина А.А., Семенова М.В. Влияние загрязнения воздуха на состояние древесных растений г. Тюмени // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2012. № 1. С. 49-53.

32. Волшаник В.В., Пешнин А.Г., Щенникова Г.Н. Проблема экономической оценки теплового загрязнения атмосферы объектами электроэнергетики // Вестник МГСУ. 2009. № 1. С. 198-207.

33. Вострикова М.А., Шкода В.В. Основные виды загрязнений водных объектов // Инновационная наука. 2016. № 4. С. 10-11.

34. Гаврилова О.И., Графова Е.О., Гольденберг П.Г. Фитотестирование при оценке воздействия выпусков сточных вод загородных объектов // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2015. № 2. С. 92-97.

35. Гашев С.Н., Бетляева Ф.Х., Лупинос М.Ю. Математические методы в биологии: анализ биологических данных: учебное пособие. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2014. 208 с.

36. Германова Т.В., Керножитская А.Ф. К вопросу экологической оценки транспортной системы на урбанизированных территориях (на примере г. Тюмени) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. № 1. С. 1713-1716.

37. Гидрогеоэкологические условия полигонов твердых бытовых и промышленных отходов в Пермском крае / Ю.А. Килин, И.И. Минькевич, О.В. Клецкина [и др.] // Вестник Пермского университета. Геология. 2012. № 1. С. 53-65.

38. Гудков С.В., Брусков В.И., Куликов А.В. Биоантиоксиданты // Альманах клинической медицины. 2014. № 31. С. 61-65.

39. Гузеева С.А. Экологическое состояние поверхностных вод и донных отложений г. Тюмени // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2014. № 8. С. 134-139.

40. Гуленко О.В. Окислительный стресс как звено патогенеза стоматологических заболеваний у детей с психоневрологическими расстройствами // Успехи современной науки. 2016. № 7. С. 142-148.

41. Дайнеко Н.М., Тимофеев С.Ф., Жадько С.В. Накопление тяжелых

металлов прбрежно-водной растительностью водоемов вблизи г. Жлобина Гомельской области республики Беларусь // Известия Томского политехнического университета. 2016. № 5. С. 124-132.

42. Денисова Е.С. Аккумуляция растениями серосодержащих примесей атмосферы в условиях Западной Сибири // Омский научный вестник. 2009. № 1. С. 15-18.

43. Департамент дорожной инфраструктуры и транспорта Тюмени. URL: <http://www.tyumen-city.ru/> (дата обращения: 20.05.2020).

44. Елчуева Э.С., Герасимова Л.А. Тепловое загрязнение рек. Проблемы и пути решения // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2012. № 1. С. 221-222.

45. Еремченко О.З., Митракова Н.В. Фитотестирование почв и техногенных поверхностных образований в урбанизированных ландшафтах // Вестник Пермского университета. 2016. № 1. С. 60-67.

46. Журова В.Г., Светличная М.С. Изучение влияния ионов калия, кальция и магния на рост и развитие растений // Достижения науки и образования. 2018. № 1. С. 13-15.

47. Загрязнение водной среды микропластиком: воздействие на биологические объекты, очистка / Я.В. Саванина, Е.Л. Барский, И.А. Фомина [и др.] // ИТНОУ: информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2019. № 2. С. 54-58.

48. Заушинцен А.С., Скалон Н.В. Влияние абиотических, биотических и антропогенных факторов на формирование биологической продуктивности растений // Вестник Кемеровского государственного университета. 2013. № 4. С. 10-13.

49. Защита водных объектов от загрязнения сточными водами / Д.П. Гостищев, В.А. Широкова, А.О. Хуторова [и др.] // Природообустройство. 2014. № 1. С. 62-68.

50. Зиновьева А.Е., Дурникин Д.А. Влияние минерализации и общей жесткости воды на распределение гидрофитов в экосистемах // Известия

Алтайского государственного университета. 2012. № 1. С. 33-36.

51. Иванова К.А., Цыганов В.Е. Антиоксидантная система защиты в симбиотических клубеньках бобовых растений // Сельскохозяйственная биология. 2017. № 5. С. 878-894.

52. Игошкин В.В. Влияние полигона твердых бытовых отходов г. Оренбурга на качество подземных вод // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 16. С. 148-150.

53. Иллюстрированный определитель растений Средней России. Том 1. Папоротники, хвощи, плауны, голосеменные, покрытосеменные (однодольные). / И.А. Губанов, К.В. Киселёва, В.С. Новиков [и др.]. М: Т-во научных изданий КМК, Ин-т технологических исследований, 2002. 526 с

54. Ильченко И.А. Взаимодействие компонентов экосистемы приморского города в условиях антропогенного загрязнения // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский район. Естественные науки. 2010. № 1. С. 86-90.

55. Индукция синтеза низкомолекулярных антиоксидантов растениями *Achillea Millefolium* L. в условиях техногенного загрязнения / А.В. Кудряшов, А.Е. Пищик, Н.Ф. Гусев [и др.] // Приволжский научный вестник. 2011. № 4. С. 3-7.

56. Интенсивность свободнорадикального окисления белков и липидов плазмы крови у городских и сельских школьников младшего возраста / И.В. Головатских, Ф.Х. Камилов, Э.Р. Бикметова [и др.] // Медицинский вестник Башкортостана. 2014. № 9. С. 52-56.

57. Исаченко-Боме Е.А. Оценка современного состояния водных экосистем бассейна реки Туры по структуре макрозообентоса в условиях хронического антропогенного воздействия. Борок, 2004. 174 с.

58. Казакова А.С., Гайдаш М.В. Система антиоксидантной защиты растений в условиях водного стресса // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2005. № 5. С. 62-68.

59. Калманова В.Б. Выбор и обоснование показателей

экологического состояния дендрофлоры в условиях городской среды // Региональные проблемы. 2014. № 2. С. 65-70.

60. Касьян В.В. Влияние теплового загрязнения на структурные и количественные показатели зоопланктона // Universum: химия и биология. 2015. № 8. С. 1-11.

61. Колесников В.А., Аветисян А.А. Оценка содержания тяжелых металлов в семенах перспективных кормовых растений // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 4. С. 10-14.

62. Колясникова Н.Л. Изменчивость морфологических показателей сосны обыкновенной в условиях аэротехногенного загрязнения / Пермский аграрный вестник. 2013. № 4. С. 39-43.

63. Корнилов А.Л. Биохимические показатели и содержание тяжелых металлов в растениях береговой линии водоемов г. Тюмени в условиях антропогенного загрязнения. Тюмень, 2014. 249 с.

64. Корнилов А.Л., Петухова Е.С. Биотестирование загрязненных сред: методы биотестирования и биоиндикации в оценке состояния окружающей среды: учебно-методический комплекс по направлениям подготовки 020400.62 Биология. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2012. 40 с.

65. Ксейко Д.А., Генинг Т.П., Бочкова Е.Г. Антиоксидантная резистентность эритроцитов после кровопотери и в условиях коррекции аскорбиновой кислоты // Фундаментальные исследования. 2014. № 12. С. 2357-2360.

66. Кузнецов Г.В., Литвак В.В., Максимов В.И. Математическое моделирование процессов биологического загрязнения технологических водоемов // Известия Томского политехнического университета. 2009. № 4. С. 16-20.

67. Кузнецова И.В. Загрязнение атмосферы города Ишима // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2012. № 1. С. 1-4.

68. Лапшин А.П., Игнатъева Л.П. Особенности химического состава питьевой воды города Тюмени // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). 2014. № 8. С. 79-82.
69. Любимова Т.П., Паршикова Я.Н. Моделирование распространения тепловых загрязнений в крупных водных объектах // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 2. С. 92-101.
70. Малиновский В. И. Физиология растений. Учебное пособие. Владивосток: ДВГУ, 2004. 106 с.
71. Маркин В.Н. Эколого-водохозяйственная оценка реки Туры / Природообустройство. 2012. № 2. С. 60-65.
72. Маханова Р.С. К вопросу изучения перекисного окисления липидов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2011. № 1. С. 231-234.
73. Медведев С.С. Физиология растений: Учебник. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2004. 336 с.
74. Меркулова Т.Н., Кравченко А.С. Проблемы очистки водных объектов от техногенных загрязнений // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2012. № 3. С. 74-78.
75. Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов. С.-Пб.: НИИ Атмосфера, 1999. 16 с.
76. Минкина Т.М., Вардуни Т.В., Манджиева С.С. Индикация химического загрязнения почв и растений // Издательство Печатная лавка, 2015. 192 с.
77. Московченко Д.В., Моисеева И.Н. Хозяинова Н.В. Элементарный состав растений Уренгойских тундр // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2011. № 1 С.130-136.
78. Музалевская О.В., Донская Л.И. Сравнение спонтанного, аскорбат-зависимого и НАДН-зависимого перекисного окисления липидов и

содержания токоферолов в зародыше и эндосперме семян голосеменных растений // Acta Biomedica Scientifica. 2006. № 2. С. 107-111.

79. Мурашко Ю.А., Кравченко И.В. Содержание тяжелых металлов в осоке водной прибрежно-водных биоценозов природного парка “НУМТО” // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2017. № 8. С. 104-110.

80. Наац И.Э., Кириллов В.С., Корчагин П.В. Моделирование совместного загрязнения грунта и атмосферы // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2005. № 3. С. 16-20.

81. Немерешина О.Н., Гусев Н.Ф., Карпюк М.С. К вопросу активизации клеточной защиты растений под влиянием выбросов предприятий газпрома // Проблемы анализа риска. 2011. № 4. С. 36-46.

82. Никифоров Д.Л., Бородин А.Л., Никифоров А.Л. Устойчивые популяции обыкновенного пескаря (*Gobio Gobio*) в условиях теплового загрязнения // Символ науки. 2016. № 2. С. 42-43.

83. Новиков В.Е., Левченкова О.С., Пожилова Е.В. Роль активных форм кислорода в физиологии и патологии клетки и их фармакологическая регуляция // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. 2014. № 12. С. 13-21.

84. Основы биохимии Ленинджера: в 3 т. Т. 2: Биоэнергетика и метаболизм / Д. Нельсон, М. Кокс; пер. С англ. 3-е изд., испр. М.: Лаборатория знаний, 2017. 636 с.

85. Перекисное окисление липидов в тканях растений кукурузы и ржи при действии ионов цинка / М.Е. Степанов, Д.В. Белодурин, Т.А. Панькина [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2009. № 1. С. 210-212.

86. Перекисное окисление липидов дикорастущих галофитов в условиях приэльтонья / В.Н. Нестеров, Е.С. Богданова, Г.Н. Табаленкова [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук.



2014. № 5. 299-303.

87. Петрович Ю.А., Гуткин Д.В. Свободнорадикальное окисление и его роль в патогенезе воспаления, ишемии и стресса // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. 2006. № 5. С. 85-91.

88. Петухов А.С., Хритохин Н.А., Петухова Г.А. Активность каталазы травянистых растений в условиях загрязнения городской среды // Самарский научный вестник. 2019. № 1. С. 90-95.

89. Петухов А.С., Хритохин Н.А., Петухова Г.А. Перекисное окисление липидов в клетках растений в условиях городской среды // Вестник РУДН. Серия: экология и безопасность жизнедеятельности. 2018. № 1. С. 82-90.

90. Полевой В. В. Физиология растений. М.: Высшая школа, 1989. 464 с.

91. Половника М.Г. Оценка состояния уходящих сточных вод биологических очистных сооружений республики Марий Эл // Вестник Марийского государственного университета. 2011. № 1. С. 164-170.

92. Попов А.И., Черкасова Е.А., Баранова В.В. Сравнительное изучение некоторых видов клевера, произрастающих в угледобывающих регионах Заданой Сибири // Техника и технологии пищевых производств. 2009. № 1. С. 7-14.

93. Прядехина Е.В., Лапшин П.В., Загоскина Н.В. Изменения в интенсивности перекисного окисления липидов и образовании флавоноидов у интактных и генно-модифицированных растений картофеля (*Solanum tuberosum* L.) после низкотемпературного воздействия // Сельскохозяйственная биология. 2014. № 3. С. 88-91.

94. Радионов Н.В., Волков К.С., Холодова В.П. Сравнительный анализ устойчивости растений рапса к повышенным концентрациям меди и цинка // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: агрономия и животноводство. 2007. № 4. С. 21-29.

95. Разыграев А.В., Матросова М.О., Титович И.А. Роль

глутатионпероксидазы в ткани эндометрия: факты, гипотезы, перспективы изучения // Журнал акушерства и женских болезней. 2017. № 2. С. 104-111.

96. Рогожина Т.В., Рогожин В.В. Роль перекисного окисления липидов в прорастании зерновок пшеницы // Вестник Алтайского государственного университета. 2013. № 4. С. 28-32.

97. Росводоканал Тюмень. URL: <https://www.vodokanal> (дата обращения: 17.04.2020).

98. Росприроднадзор. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. Тюмень. URL: <http://72.rpn.gov.ru> (дата обращения: 17.04.2020).

99. Россихина А.С., Винниченко А.Н. Участие супероксиддисмутазы в адаптации растений к действию гербицидов // Biosystems Diversity. 2005. № 1. С. 232-235.

100. Рязанцева А.В., Ивановская Д.Б. Сравнительный анализ качества воды г. Тюмени // Научный журнал. 2018. № 1. С. 79-81.

101. Скипин Л.Н., Берсенева А.Г. Экологическая оценка урбаноземов на примере территорий города Тюмени // Аграрный вестник Урала. 2014. № 2. С. 71-73.

102. Соколова К.И., Конакова А.В., Мухаметова С.В. Определение активности каталазы в почках древесных растений // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 2. С. 22-24.

103. Сравнительная оценка токсичности и загрязненности донных отложений некоторых водных объектов города Тюмени методами корреляционного и многомерного (кластерного) анализа / Л.В. Михайлова, Г.Е. Рыбина, Е.А. Масленко [и др.] // Аграрный вестник Урала. 2009. № 11. С. 97-99.

104. Сыромятникова С.Н., Колмыков С.Н., Корнилов А.Г. Азотное загрязнение водных объектов Белгородской области в сельскохозяйственных и промышленных районах // Научные ведомости Белгородского государственного университета. 2012. № 15. С. 1-5.

105. Теличенко В.И., Курочкина В.А. Методология оценки техногенного загрязнения водных объектов урбанизированных территорий // Вестник МГСУ. 2016. № 6. С. 80-89.
106. Терентьева А.М. Влияние урбанизации на гидрогеоэкологические условия города Тюмени // Записки горного института. 2003. № 155. С. 51-52.
107. Тимин О.А. Биохимия. URL: <https://biokhimija.ru/> (дата обращения: 20.04.2020).
108. Тихомирова В.Я., Захарова Л.М. Очаговые неинфекционные болезни льна-долгунца // Защита и карантин растений. 2013. № 1. С. 49-50.
109. Тугушева Ф.А. Процесса перекисного окисления липидов и защитная роль антиоксидантной системы в норме и у больных с хроническим гломерулонефритом // Нефрология. 2001. № 1. С. 19-27.
110. Уманец В.Н. Вероятностная оценка геологического риска загрязнения геосфер отходами ЖКХ // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2010. № 3. С. 191-196.
111. Хамроева Х.М., Давлятназарова З.Б., Норкулов Н.Х. Влияние экзогенных антиоксидантов на перекисное окисление липидов у растений Арабидопсиса в условиях засоления // Доклады академии наук республики Таджикистан. 2018. № 3. С. 308-312.
112. Характер и степень поражения сортов винограда неинфекционным хлорозом / М.Н. Фисун, Е.М. Егорова, Е.С. Сиротенко [и др.] // Евразийский Союз Ученых. 2019. № 6. С. 31-35.
113. Чанчаева Е.А., Айзман Р.И., Герасев А.Д. Современное представление об антиоксидантной системе организма человека // Экология человека. 2013. № 7. С. 50-58.
114. Черных Н.А., Челтыгмашева И.С. Баева Ю.И. Загрязнение почв тяжелыми металлами и качество растениеводческой продукции // Вестник РУДН. 2003. № 9. 179-187.
115. Чеснокова Н.П., Понкулина Е.С., Бизенкова М.Н. Молекулярно-клеточные механизмы инактивации свободных радикалов в биологических

системах // Успехи современного естествознания. 2006. № 7. С. 29-36.

116. Чомаева М.Н., Джуртубаев Р.Ю. Основные источники загрязнения атмосферы на территории Карачаево-Черкесии // Евразийский Союз Ученых. 2014. № 8. С. 71-72.

117. Чудновская Г.В. Ресурсы подорожника большого (*Plantago Major* L.) // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2016. № 3. С. 3-8.

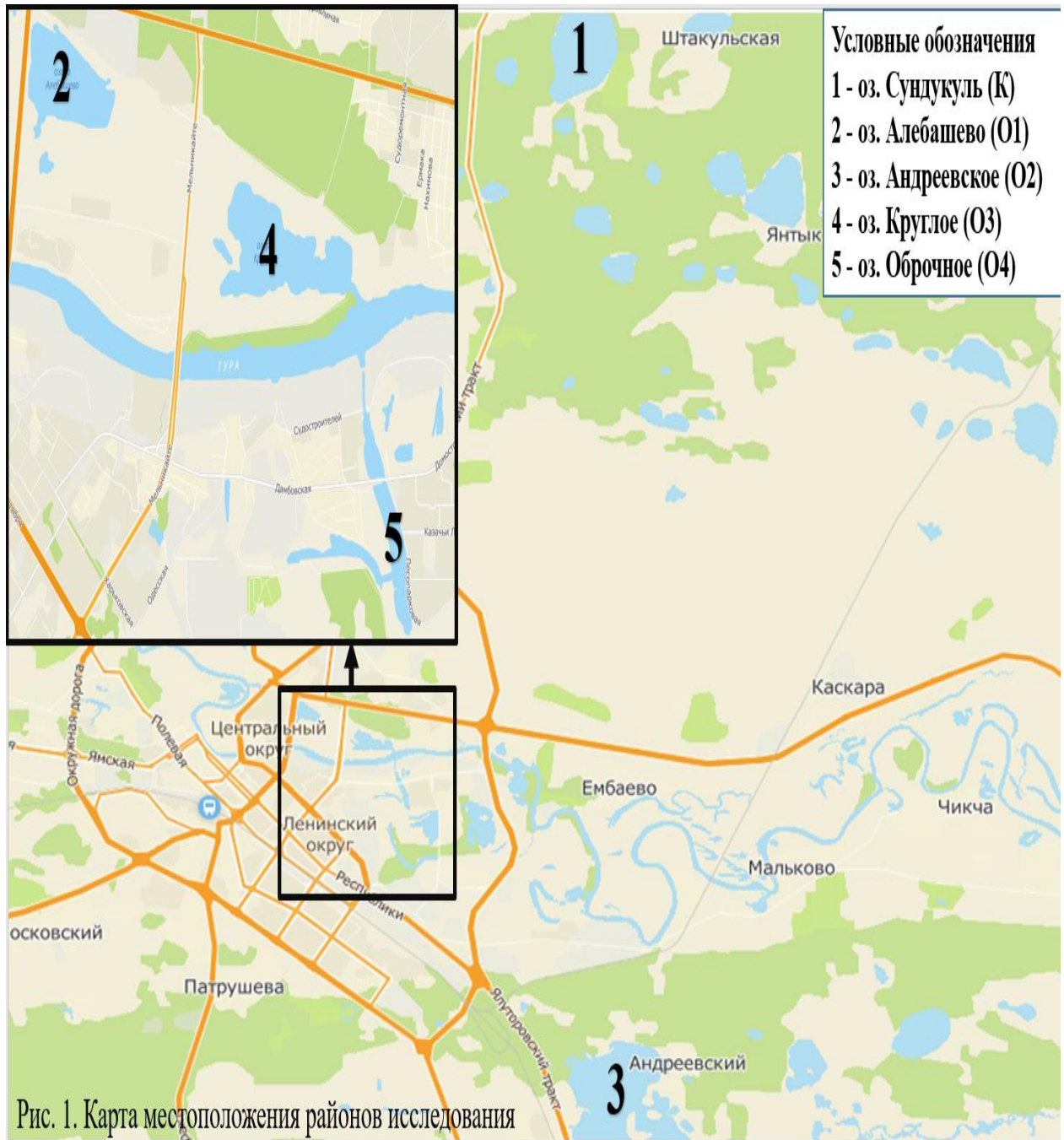
118. Шабалина О.М., Демьяненко Т.Н. Оценка применимости некоторых двудольных и однодольных растений для фитотестирования городских почв // Ульяновский медико-биологический журнал. 2012. № 1. С. 103-113.

119. Шабалина О.М., Демьяненко Т.Н. Фитотестирование городских почв с помощью пшеницы // Вестник КрасГАУ. 2009. № 3. С. 107-112.

120. Шведова А.А., Полянский Н.Б. Метод определения конечных продуктов перекисного окисления липидов в тканях // Исследование синтетических и природных антиоксидантов *in vitro* и *in vivo* сб. Науч. Статей. 1992. С. 1-96.

121. Шестаков В.И. Об экологической ситуации в Тюменской области // Областная научно-практическая конференция «Окружающая среда» Тюмень: ТюмГУ, 2000. № 1. С.3–6.

## Карта местоположения районов исследования



Содержание первичных продуктов перекисного окисления липидов  
(диеновых конъюгатов) в изучаемых растениях, усл ед/мг

Водоемы	Подорожник большой	Клевер ползучий	Рогоз широколиственный	Осока острая
Сундукуль (К)	8,01±0,44	5,40±0,56	10,24±0,74	8,31±0,39
Алебашево (О1)	18,12±0,54*	19,34±0,31*	24,12±0,58*	16,47±0,47*
Андреевское (О2)	14,81±0,76*	15,63±0,48*	21,89±0,97*	15,67±0,64*
Круглое (О3)	17,15±0,89*	16,01±0,69*	20,45±1,20*	18,21±0,71*
Оброчное (О4)	15,82±0,61*	11,36±1,10*	19,18±0,76*	17,29±0,58*

Примечание: \* - статистически достоверные различия, при  $p < 0,05$

Содержание вторичных продуктов перекисного окисления липидов  
(оснований Шиффа) в изучаемых растениях, усл ед/мг

Водоемы	Подорожник большой	Клевер ползучий	Рогоз широколист- ный	Осока острая
Сундукуль (К)	0,40±0,04	0,34±0,05	0,40±0,06	0,31±0,03
Алебашево (О1)	1,00±0,05*	0,96±0,10*	1,01±0,09*	0,84±0,06*
Андреевское (О2)	0,72±0,04*	0,78±0,07*	0,96±0,08*	0,78±0,04*
Круглое (О3)	0,94±0,06*	0,81±0,06*	0,84±0,04*	0,97±0,07*
Оброчное (О4)	0,87±0,05*	0,64±0,07*	0,76±0,06*	0,92±0,05*

Примечание: \* - статистически достоверные различия, при  $p < 0,05$

Активность каталазы в растениях береговых и прибрежно-водных зон  
водоёмов г. Тюмени, в нкат/г

Водоёмы	Подорожник большой	Клевер ползучий	Рогоз широколиственный	Осока острая
Сундукуль (К)	0,022±0,004	0,020±0,003	0,029±0,002	0,019±0,002
Алебашево (О1)	0,076±0,009*	0,074±0,010*	0,078±0,004*	0,056±0,004*
Андреевское (О2)	0,045±0,007*	0,049±0,004*	0,072±0,006*	0,049±0,003*
Круглое (О3)	0,071±0,010*	0,056±0,007*	0,067±0,004*	0,061±0,004*

Примечание: \* - статистически достоверные различия, при  $p < 0,05$