

На правах рукописи

МАЛАХОВА Елена Сергеевна

ГАЗОУСТОЙЧИВОСТЬ И АККУМУЛЯЦИОННАЯ
СПОСОБНОСТЬ РАСТЕНИЙ В ТЕХНОГЕННОЙ СРЕДЕ
НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ
(НА ПРИМЕРЕ ОАО «ТЕХУГЛЕРОД»)

03.00.16 -экология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук



№ 24379

Омск 2004

Диссертация выполнена на кафедре экологии и охраны окружающей среды Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Омский государственный педагогический университет»

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, профессор *Николай Алексеевич Калининко*

Официальные оппоненты: доктор сельскохозяйственных наук, ст. научный сотрудник
Леонид Владимирович Березин;

кандидат биологических наук, доцент
Рафаил Гарифович Зарипов

Ведущая организация: ФГОУ ВПО «Омский государственный аграрный университет»

Защита состоится 24 декабря 2004 г. в 14.30 часов на заседании диссертационного совета К 212.177.02 в ГОУ ВПО «Омский государственный педагогический университет» по адресу:

644099, г. Омск, наб. Тухачевского, 14.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Омский государственный педагогический университет».

Автореферат разослан 23 ноября 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Е.С. Березина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Из всех форм деградации природной среды наиболее опасной в настоящее время остается загрязнение атмосферы вредными веществами. Возрастающее количество промышленных и транспортных выбросов все более актуализирует поиск путей их нейтрализации; необходимость этого отражена в законе РФ от 2 апреля 1999 г. «Об охране атмосферного воздуха».

Известно, что растения выступают в качестве универсальных природных фильтров, аккумулирующих и детоксирующих самые различные ингредиенты промышленных выбросов (Гетко, 1972, 1989; Тарабрин, 1975, 1980, 1990; Скрипальщикова, 1992, 1997; Фролов, 1990, 1998; Treshow, 1989, 2002; Mandre, Ots, 1995 и др.). В связи с этим требуются комплексные физиолого-биохимические исследования, направленные на повышение эффективного использования древесных растений для понижения уровня загрязнения атмосферы.

В различных почвенно-климатических условиях растения выполняют свою роль с различной эффективностью (Илькун, 1978; Сергейчик, 1997, 1998), поэтому рекомендации по озеленению промышленных объектов должны иметь точный экологический адрес.

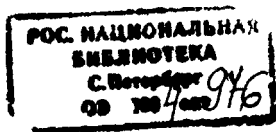
Особую актуальность приобретают эти вопросы в условиях Омска, города с большой плотностью населения и развитой промышленностью. По данным управления природных ресурсов и охраны окружающей среды, веществами, определяющими высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха Омска, являются формальдегиды и сажа, а специфическими загрязнителями, имеющими максимальные выбросы, - предельные и ароматические углеводороды.

Наряду с обширным отечественным и зарубежным материалом о воздействии различных загрязнителей на растения, вопрос о фитотоксичности ароматических углеводородов и поглощении их растениями освещен слабо, отсутствуют также сведения о характере влияния сажи на дендрофлору, хотя ее частицы субмикронного диапазона являются важной составной частью эмиссии промышленных источников.

Цель исследования. На основе анализа газоустойчивости древесных растений к токсическим веществам выбросов промышленного предприятия и их аккумулирующей способности установить наиболее оптимальный видовой состав древесных растений санитарно-защитных зон химических предприятий Западной Сибири.

В соответствии с целью ставились следующие задачи:

1. Изучить устойчивость растений к токсическим веществам по реакции их пигментного комплекса, рН клеточного сока, активно-



сти окислительных ферментов, водного режима на выбросы ОАО «Техуглерод».

2. Провести оценку сероаккумулирующих, фенолпоглощающих и пылеулавливающих свойств древесных растений.

3. Определить степень повреждения растений и способность к аккумуляции ими газообразных токсикантов при обработке различными концентрациями веществ (серной кислотой, углеводородами, техуглеродом), присутствующих в выбросах предприятий технического углерода.

4. Используя физиологическую оценку древесных растений на устойчивость к выбросам промышленного предприятия подобрать ассортимент древесных культур для создания санитарно-защитной зоны.

Научная новизна работы. Впервые изучены резистентность и аккумуляционная способность растений в условиях производства технического углерода, исследована фитотоксичность сажи и определена способность различных видов растений к ее аккумуляции.

Впервые в условиях Западной Сибири проведена комплексная оценка газоустойчивости растений в техногенной среде на основе их физиолого-биохимических и морфологических показателей, с применением натуральных и экспериментальных исследований проведена сравнительная характеристика растений по их способности к поглощению углеводородов: метана, бензола, толуола и фенола.

Разработаны рекомендации по подбору растений для санитарно-защитных зон химических предприятий Западной Сибири, сходных по спектру выбросов с предприятием ОАО «Техуглерод».

Практическое значение. Выявлен видовой состав древесных и древесно-кустарниковых растений, перспективных для озеленения территорий предприятий по производству технического углерода и их санитарно-защитных зон. Эти данные, а также сведения о возможных приемах повышения газоустойчивости растений вошли в рекомендации по озеленению территории предприятия ОАО «Техуглерод» и Института проблем переработки углеводородов Сибирского отделения Российской академии наук.

Полученные результаты могут быть использованы в качестве научной основы при зеленом строительстве городов Западной Сибири, при подборе видов растений для различного типа посадок, в том числе для создания насаждений с повышенной санитарно-гигиенической активностью в районах с высокой загазованностью и запыленностью атмосферного воздуха. С этой целью данные исследований используются ЗАО «Декоративные культуры».

Оценка растений по физиолого-биохимическим показателям может быть использована для определения уровня загрязнения атмосферного воздуха.

Материалы диссертации используются в учебном процессе при чтении курса лекций по экологии и основам природопользования студентам химико-биологического факультета ОмГПУ, НОУ ВПО «Омский гуманитарный институт» и Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии.

Положения, выносимые на защиту:

1. Тополь черный, яблоня ягодная и ива белая проявляют стабильную устойчивость как при кратковременном воздействии высоких концентраций токсикантов, так и в естественных условиях при хроническом воздействии.

2. Технический углерод менее токсичен для растений, чем серная кислота и ароматические углеводороды. Эффективными в сорбировании техуглерода являются тополь черный и ива белая.

Апробация работы. Результаты исследований доложены на межвузовской конференции молодых ученых «Научная молодежь — XXI веку» (Сургут, 2001 г.), на областной научно-практической конференции «Природа, природопользование и природообустройство Омского Прииртышья» (Омск, 2001 г.) и на Международной молодежной конференции «Экология - 2003» (Архангельск, 2003 г.).

Публикации. По материалам исследований опубликовано 5 работ.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 141 странице, включает 18 таблиц, 18 рисунков. Состоит из введения, четырех глав, выводов, библиографического списка, включающего 293 наименования, из них 36 - на иностранных языках, и приложений.

Автор выражает глубокую признательность научному руководителю диссертации доктору сельскохозяйственных наук, профессору Н.А. Калиненко и соруководителю кандидату сельскохозяйственных наук, доценту В.Г. Еремеевой за консультации и замечания при научном исследовании.

МЕТОДИКА И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования являлись древесные растения, широко используемые для озеленения городов и промышленных районов Омской области: береза повислая - *Betula pendula* Roth., ива белая - *Salix alba* L., клен ясенелистный - *Acer negundo* L., сосна обыкновенная - *Pinus sylvestris* L., тополь черный - *Populus nigra* L., яблоня ягодная - *Malus baccata* (L.) Borkh. Сажезадерживающая способность и

влияние сажи на некоторые биохимические показатели растений были изучены также у 64 видов деревьев и кустарников, произрастающих в ЗАО «Декоративные культуры» г. Омска.

Методы исследований.

Общая структура исследований представлена на рис. 1.

Полевые исследования проводились в течение вегетационного периода 2000-2004 гг. в посадках растений, расположенных на различном удалении от ОАО «Техуглерод». Все зоны размещены по вектору господствующих ветров.

Для контроля взяты растения, находящиеся вне зоны действия промышленных предприятий в 24 км к юго-востоку от предприятия ОАО «Техуглерод».

Для исследований во всех зонах выбиралось по 10 модельных деревьев каждого вида. Листья отбирались в одном ярусе кроны, обращенной к источнику загрязнения.

В полевых исследованиях определяли: общее содержание воды в листьях (Гусев, 1960), водный дефицит (Починок, 1976), активность ферментов каталазы (Вальтер, Плювич, 1938), пероксидазы и полифенолоксидазы (йодометрическим методом по Ермакову, 1952), pH гомогената (на иономере ЭВ-74 по Васфилову, 1997), количество пигментов: хлорофиллов и каротиноидов (на спектрофотометре по Гавриленко, 1975), общее содержание фенолов (по методу Левентеля в модификации Курсанова, Колесниковой и Крюковой) и серы в листьях (хроматойодометрическим методом после сжигания навески по Починку, 1976). Суммарную оценку сажезадерживающей способности растений проводили на основании данных учета осевших твердых частиц на листьях деревьев и на земную поверхность иод ними, за вычетом количества пыли, осевшей на открытых участках под действием силы тяжести. Повреждаемость листьев определяли бальным методом (Красинский, 1950).

При опрыскивании листьев растений использовали слабые растворы серной кислоты. На дереве выбирали четыре ветви - три опытные и контрольная. Контрольную ветвь опрыскивали дистиллированной водой. Через 24 и 72 часа после обработки кислотой определяли: pH гомогената, активность ферментов каталазы и полифенолоксидазы, содержание пигментов и общей серы в листьях.



Рис. 1. Схема исследований

Для экспозиции растений парами углеводородов использовали герметичные полиэтиленовые камеры объемом 10 л. В камеры вносили навески бензола, толуола, фенола в концентрациях 30, 60 и 120 мг/м³, а также по 5, 10 и 30 мг/м³ всех этих токсикантов суммарно. При фумигации растений предельными углеводородами использовали проверочные газовые смеси с аттестованным содержанием метана: 30, 60 и 120 мг/м³. Для эксперимента на дереве выбирали ветви с равным количеством листьев и в одинаковых условиях освещенности. Результаты сравнивали с контрольной ветвью, находящейся в камере без токсикантов. В ноябре влияние углеводородов определяли также на взрослых соснах и молодых (20 сантиметровых) елях сибирских. После 5-часовой экспозиции определяли активность ферментов и общее содержание фенолов в листьях опытных растений.

В экспериментах с искусственным опудриванием листьев применялась сажа, выпускаемая ОАО «Техуглерод». Через 24 и 72 часа после нанесения определяли оставшуюся к моменту срезания сажу в процентах от нанесенной массы, активность ферментов и содержание пигментов. Сажезадерживающая способность после максимально возможного нанесения техуглерода была изучена также у 64 видов древесных растений. У 24 видов через 48 и 96 часов после опудривания определялась активность ферментов.

Статистическая обработка полученных данных проводилась по общепринятым вариационным методикам (Плохинский, 1978; Лакин, 1990; Максимов, 1980). При определении ошибки средней арифметической в группе модельных растений не учитывались «выскакивающие варианты», оцениваемые по нулевой гипотезе с помощью t-критерия Стьюдента. Для проверки достоверности различий между двумя выборками использовался критерий Стьюдента. Данные исследований обрабатывали методом однофакторного дисперсионного анализа с помощью пакета программ *Microsoft Excel*.

Во всех газодинамических зонах были проведены анализы почв и атмосферного воздуха.

Анализ воздушной среды в газодинамических зонах и в выбросах завода проводился на базе аттестованной на проведение анализов санитарно-промышленной лаборатории ОАО «Техуглерод». Все используемые методы анализа внесены в государственные перечни методик, допущенных к применению.

Экологические условия произрастания растений.

Исследования древесных растений проводились в Омской области, климатические условия которой характеризуются сравнительно суровой и континентальностью.

Результаты анализа состава промышленных выбросов ОАО «Техуглерод» показали преимущественное содержание в них предельных и ароматических углеводородов и сажи, в связи с чем наблюдается повышенное содержание этих токсикантов в атмосферном воздухе газодинамических зон. Зоны сильной загазованности (территория и санитарно-защитная зона предприятия) характеризуются примерно одинаковым уровнем загрязнения, а в зоне, расположенной на расстоянии 2 км от ОАО «Техуглерод», уровень загрязнения в 1,5-4 раза ниже.

Участки исследования характеризуются сходным агрохимическим составом. Почвы представлены черноземами, по механическим свойствам являющимися тяжелыми суглинками.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАСТЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЗОН

Физиолого-биохимические показатели растений.

Полевые исследования растений различных газодинамических зон не выявили заметных повреждений (некрозов, деформаций, ожогов) листьев растений.

Дисперсионный анализ показал достоверное влияние промышленных выбросов на растения, сила влияния составляет 0,30-0,95, достоверность 95-99,9 %. Разница между физиолого-биохимическими показателями фоновых растений и произрастающих в загрязненных зонах во всех случаях достоверна с 0,5%-ным и 1%-ным уровнем значимости.

Водный режим исследуемых растений загрязненных зон не имеет значительных отклонений от контрольных аналогов. Сравнительный анализ видов показывает более существенные изменения в обводнении листьев и водном дефиците у березы повислой, чем у остальных изученных видов растений. Водный дефицит исследуемых растений в среднем не превышает 10 %, т. е. представляет собой обычное явление, не причиняющее растению вреда. Следовательно, несмотря на то что листья растений в зонах сильного загрязнения густо покрыты сажей, что увеличивает скорость транспирации, все исследуемые виды деревьев сохраняют нормальный водообмен.

Снижение рН в загрязненных зонах отмечено у березы повислой (до 20 % от контроля). У яблони ягодной, клена ясенелистного и ивы белой смещения рН были незначительны, в некоторых случаях обнаруживается даже увеличение этого показателя по сравнению с фоном.

При изучении пигментного комплекса было установлено, что аэротехногенное загрязнение вызывает значительное снижение хлорофиллов и каротиноидов у березы повислой, с нарастанием нарушений

в течение вегетационного периода. Наименее чувствителен пигментный комплекс у тополя черного и яблони ягодной. Небольшое снижение хлорофиллов и каротиноидов в июне (на 12-39 %) сменяется у этих видов некоторым повышением их в июле и августе. Содержание в воздухе газов стимулирует фотосинтез и увеличивает число пигментов у устойчивых видов растений. Изменения в пигментном комплексе происходят главным образом за счет изменения содержания хлорофилла *b*, свободная форма которого менее стойка к воздействию различных агентов, чем связанная с белком.

Активность ферментов подвержена наиболее сильным изменениям у березы повислой и клена ясенелистного, наименьшим - у тополя черного и яблони ягодной. У березы повислой значительное повышение активности полифенолоксидазы в загрязненных зонах в июне и июле сменяется ингибированием в августе, что также свидетельствует о высокой чувствительности березы к загрязнению.

Накопление растениями атмосферных токсикантов в естественных условиях произрастания.

Полученные данные по способности растений накапливать атмосферные токсиканты промышленного предприятия показали их значительную роль в очистке воздушной среды. Проведенный дисперсионный анализ показал достоверное увеличение количества серы ($\eta = 0,65-0,92$; $p < 0,001$), фенолов ($\eta = 0,57-0,77$; $p < 0,01-0,001$) и сажи ($\eta = 1$; $p < 0,001$) в листьях растений загрязненных зон. Наиболее интенсивной серопоглощающей способностью среди всех изученных видов обладает тополь черный, количество серы в листьях этого вида увеличивается в 3,3 раза от контроля (рис. 2). Также эффективно аккумулируют серу яблоня ягодная и ива белая. Интенсивность поглощения серы у клена ясенелистного и березы повислой почти в 2 раза меньше.

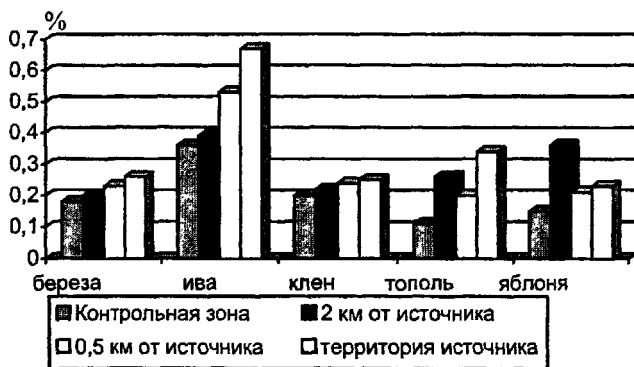


Рис. 2. Накопление серы в листьях растений газодинамических зон в июне, 2000 г., %

По мере приближения местообитания к источнику выбросов у всех изучаемых видов растений отмечено повышение содержания фенолов в листьях в 1,2-1,6 раза от контроля (рис. 3). Береза повислая, клен ясенелистный и яблоня ягодная аккумулируют фенолов примерно в 1,3 раза больше, чем остальные виды.

У всех изучаемых растений количество серы и фенолов в листьях увеличивается от июня к августу, постепенно накапливаясь в течение вегетативного периода.



Рис. 3. Содержание фенолов в листьях растений газодинамических зон в июне 2000 г., мг/г

Отмечена высокая эффективность растений в улавливании пыли, поступающей с выбросами ОАО «Техуглерод». Количество осевшей на листьях пыли у растений увеличивается на территории источника в 40-132 раза, в сравнении с контрольной зоной, а под кронами деревьев, в загрязненных зонах, задерживалось в среднем в 20 раз больше пыли, чем на открытом пространстве. Наибольшее количество пыли (на территории источника - около 2 г/м^3) обнаружено под кронами березы и ивы, наименьшее (около 1 г/м^3) - под кроной тополя. Результаты суммарной оценки пылеулавливающей способности растений показали, что тополь черный и ива белая уловили пыли больше в 2-3 раза, чем остальные виды (рис. 4).

Таким образом, полученные результаты по сопряженности газоустойчивости и газопоглотительной способности растений показали, что тополь черный, яблоня ягодная и ива белая способны к эффективной очистке промышленных выбросов предприятий по выпуску технического углерода и обладают устойчивостью к их воздействию. Поскольку эффективность в поглощении фенолов березы повислой не

намного выше, чем у других видов, а повреждаемость очень высока, в нашей работе она не рекомендуется для озеленения предприятий по выпуску технического углерода.



Рис. 4. Суммарная оценка пылездерживающей способности растений (средняя за вегетационный период 2001-2004 гг.), г/м² листовой пластинки

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНО-ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО АККУМУЛЯЦИИ РАСТЕНИЯМИ АТМОСФЕРНЫХ ТОКСИКАНТОВ И ИХ ФИТОТОКСИЧНОСТИ

Однофакторный дисперсионный анализ экспериментальных данных показал достоверное влияние обработки серной кислотой, экспозиции углеводородами и нанесения технического углерода на физиолого-биохимические показатели растений. Влияние технического углерода на растения слабее, чем других токсикантов. Под действием растворов серной кислоты рН гомогената листьев исследуемых растений снижается в среднем в 1,1-1,5 раза от контроля ($\eta = 0,87-0,97$; $p < 0,001$), активность каталазы - в 1,3-2 раза ($\eta = 0,98-0,99$; $p < 0,001$), активность полифенолоксидазы - в 1,2-1,9 раза ($\eta = 0,94$; $p < 0,001$), пигментный комплекс - в 1,1-1,6 раза ($\eta = 0,83-0,93$; $p < 0,001$) по сравнению с контролем. После экспозиции углеводородами активность полифенолоксидазы растений повысилась в 1,1 — 2 раза к контрольным аналогам ($\eta = 0,60-0,99$; $p < 0,001$), активность пероксидазы - в среднем в 6 раз ($\eta = 0,89-0,99$; $p < 0,001$). Нанесение технического углерода снизило количество пигментов растений в среднем в 1,1-1,2 раза ($\eta = 0,55$; $p < 0,001$), каталаза ингибировалась в 1,04-2 раза

($\eta = 0,70-0,93$; $p < 0,001$), активность полифенолоксидазы повышается в 1,05-2 раза ($\eta = 0,60-0,93$; $p < 0,001$) к контрольным аналогам. Исследуемые виды растений после обработки накапливают в своих листьях в 1,3-4 раза больше серы ($\eta = 0,80-0,95$; $p < 0,001$), в 1,1-2 раза больше фенолов ($\eta = 0,70-0,97$; $p < 0,001$) и в 48-173 раза больше сажи ($\eta = 1$; $p < 0,001$), чем в контроле.

При высоких концентрациях токсиканта, наилучшими серопоглощающими свойствами обладают клен ясенелистный, береза повислая и яблоня ягодная (рис. 5).

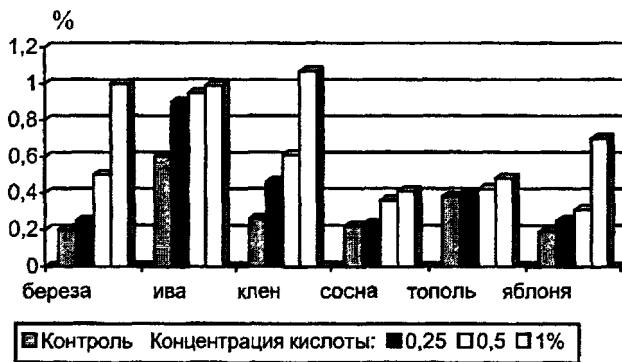


Рис. 5. Динамика содержания серы в листьях через 24 часа после обработки кислотой в июле, %

После опрыскивания визуальные наблюдения показали наибольшую повреждаемость у березы повислой и сосны обыкновенной, соответственно изменения в активности ферментов и pH листовой пластинки у этих растений были выше, чем у остальных. Тополь черный и ива белая более резистентны к действию серной кислоты: поглощают меньшее количество серы и обладают большей устойчивостью.

Обработка серной кислотой растений достоверно снижает количество хлорофиллов и каротиноидов прямо пропорционально наносимой концентрации. Количество пигментов у сосны обыкновенной уменьшается до 80-50 % по отношению к контролю. У всех остальных видов снижение примерно одинаково (рис. 6). Соотношение пигментов a/v повышается у опытных растений в 1,1-1,4 раза к контролю, с увеличением концентрации кислоты это соотношение увеличивается; у сосны (самого неустойчивого вида) оно выше, чем у других растений.



Рис. 6. Содержание хлорофиллов через 24 часа после обработки серной кислотой в июле 2000 г., мг/г

Видовые отличия по фенолпоглощительной способности растений менее выражены. Береза повислая и ива белая поглощают в среднем в 1,2 раза больше фенолов, чем клен ясенелистный, остальные растения занимают промежуточное положение по этому показателю (см. таблицу). В ноябре сосна обыкновенная аккумулирует меньше углеводов, чем в летний период. Тем не менее этот вид, также как и молодая ель сибирская, способен к активному зимнему поглощению фенолов. Предельные углеводороды, по сравнению с ароматическими, значительно слабее поглощаются растениями, и их воздействие на изучаемые виды растений проявляется в меньшей степени.

Видимые повреждения листьев вызывает только фенол в максимальной концентрации. Листья ивы приобретали темно-серую маслянистую окраску, у клена происходило обесцвечивание и скручивание листовой пластинки. У березы и тополя повреждения практически не замечены, краевые зоны листа лишь слегка темнеют.

Сильная чувствительность к парам углеводов была отмечена у клена ясенелистного. Активирование у него полифенолоксидазы и пероксидазы при низких концентрациях углеводов сменялось существенным ингибированием с повышением дозы токсиканта. Наиболее устойчивым к парам углеводов оказался тополь черный.

Таблица

Содержание фенолов в листьях растений после экспозиции углеводородами в июне 2003, мг/г

<i>Вид</i>	<i>Конц-я, мг/м³</i>	<i>Контроль</i>	<i>Экспозиция метаном</i>	<i>Экспозиция бензолом</i>	<i>Экспозиция толуолом</i>	<i>Экспозиция фенолом</i>
Береза повислая	30	10,19±0,021	10,45±0,023	18,10±0,015***	12,27±0,018***	10,61±0,013*
	60	10,19±0,021	11,39±0,018***	15,60±0,030***	13,54±0,023***	10,78±0,025*
	120	10,19±0,021	12,35±0,023***	16,60±0,025***	14,16±0,025***	12,06±0,021***
Ива белая	30	12,06±0,025	12,25±0,020	19,93±0,030***	18,14±0,030***	12,27±0,020
	60	12,06±0,025	13,21±0,018***	22,46±0,030***	20,56±0,032***	14,56±0,021**
	120	12,06±0,025	14,06±0,023***	22,88±0,036***	21,13±0,029***	15,13±0,021**
Клен ясенелистный	30	22,05±0,040	23,25±0,032*	36,61±0,023***	22,46±0,025	23,00±0,032*
	60	22,05±0,040	24,00±0,026**	26,21±0,026***	23,00±0,023*	25,00±0,026**
	120	22,05±0,040	26,00±0,025***	30,57±0,026***	24,00±0,028**	25,00±0,027**
Сосна обыкновенная	30	5,72±0,012	6,00±0,012*	6,97±0,016***	8,01 ±0,021***	8,01±0,014***
	60	5,72±0,012	6,55±0,013**	8,01±0,015***	6,97±0,020***	6,77±0,011***
	120	5,72±0,012	7,69±0,015***	9,05±0,019***	7,00±0,020***	6,77±0,017***
Тополь черный	30	20,94±0,030	21,00±0,020	20,97±0,025	23,30±0,035**	23,65±0,025**
	60	20,94±0,030	23,00±0,026**	23,45±0,026**	31,06±0,032***	28,29±0,024***
	120	20,94±0,030	23,79±0,028**	26,13±0,024***	33,77±0,033***	30,93±0,023***
Яблоня ягодная	30	9,98±0,017	10,69±0,016*	10,52±0,026*	13,00±0,025***	10,44±0,024*
	60	9,98±0,017	11,26±0,020**	11,66±0,027**	13,42±0,022***	11,25±0,025***
	120	9,98±0,017	12,96±0,023***	12,03±0,028***	14,42±0,023***	11,25±0,025***

Примечание: достоверность различий с контрольными показателями: *-p<0,05; **-p<0,01; ***-p<0,001

Листья растений улавливали от 2 до 27 % наносимого на них технического углерода. Причем с увеличением массы наносимой сажи этот процент снижался, что говорит об ограниченной способности растений задерживать сажу. Тополь черный седиментирует в 4 раза больше сажи, чем береза и яблоня, и примерно в 1,5 раза больше, чем клен, ива и сосна, с течением времени на его листьях остается больше технического углерода, чем у других видов.

Тополь черный, наряду с яблоней ягодной и ивой белой, наиболее устойчив к действию сажи. Неустойчивые виды — сосна обыкновенная и клен ясенелистный; активность каталазы и полифенолоксидазы у них при нанесении технического углерода падает до нуля. При изучении *пигментного комплекса* отмечено небольшое понижение пигментов у всех растений примерно на одну величину - 10-20 % (рис. 7). Различия между опытными и контрольными листьями в ряде случаев не достоверны. Можно отметить только несколько большую чувствительность пигментного комплекса сосны обыкновенной по сравнению с другими изученными видами.

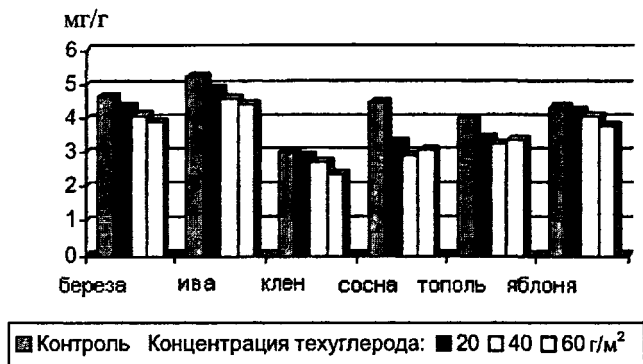


Рис. 7. Содержание хлорофиллов через 24 часа после нанесения технического углерода в июне 2003 г., мг/г

У всех растений отмечена большая степень нарушений физиолога биохимических показателей через 24 часа после нанесения технического углерода, через 72 часа показатели растений частично возвращаются к норме.

Обработка растений токсикантами приводила к сильным повреждениям листьев в начале вегетационного периода, в августе растения отличались относительно высокой газостойкостью.

Для оценки эффективности улавливания технического углерода растениями, дополнительно было опудрено 64 вида растений. По результатам этих исследований все растения условно разбиты на четыре группы: низкоэффективные, среднеэффективные, высокоэффективные и очень высокоэффективные. Разница между группами статистически достоверна с 5 %-ным и 0,1 %-ным уровнем значимости. Было выделено 24 вида растений, наиболее эффективных в улавливании сажи, и проверена их сажеустойчивость по реакции ферментных систем. По полученным данным растения разделены на 2 группы: устойчивые виды, у которых активность каталазы и полифенолоксидазы изменилась на 10-40 % от контроля, и неустойчивые виды, у которых активность сместилась более чем на 50 % от нормы. Результаты позволили выделить целый ряд видов растений, обладающих высокими сажеулавливающими свойствами и устойчивостью к этому компоненту выбросов. Ими являются липа мелколистная - *Tilia cordata Mill.*, черемуха птичья - *Padus avium Mill.*, клен татарский - *Acer tataricum L.*, клен платанолистный - *Acer platanoides L.*, дуб черешчатый - *Quercus robur L.*, роза морщинистая - *Rosa rugosa Thunb.*

Вишня войлочная - *Cerasus tomentosa (Thunb.) Wall.* и черемуха Маака — *Padus maackii (Rupr.) Kom.* являются наиболее высокоэффективными видами в аккумуляции сажи и поэтому их повреждения значительны. При произрастании на очень запыленных территориях они, скорее всего, будут иметь угнетенный вид.

ВЫВОДЫ

1. Исследование водного режима, pH клеточного сока, пигментного комплекса и активности ферментов растений, произрастающих при атмосферном загрязнении, показало высокую газоустойчивость тополя черного и яблони ягодной, береза повислая оказалась наиболее чувствительной. Дисперсионный анализ выявил достоверное влияние промышленных выбросов ОАО «Техуглерод» на изучаемые физиолого-биохимические показатели растений ($\eta = 0,30-0,95$; $p < 0,05-0,001$).

2. При оценке сероаккумулирующих и пылеулавливающих свойств растений было установлено, что в загрязненных зонах тополь черный и ива белая поглощают серу и улавливают пыль примерно в 2 раза больше, чем остальные виды растений. Наиболее высокая фенол-поглощительная способность отмечена у березы повислой, клена ясенелистного и яблони ягодной.

3. Обработка растений различными концентрациями веществ, присутствующих в выбросах предприятий технического углерода, показала, что нанесение технического углерода оказало ме-

нее токсичное влияние на физиолого-биохимические показатели растений ($\eta = 0,55-0,93$; $p < 0,001$), чем растворы серной кислоты ($\eta = 0,83-0,99$, $p < 0,001$) и экспозиция углеводородами ($\eta = 0,60-0,99$; $p < 0,05-0,001$). Наиболее резистентными к действию серной кислоты оказались тополь черный и ива белая. Береза повислая аккумулировала значительное количество серы в листьях (в 4,5 раза больше, чем в контроле) и проявила высокую чувствительность.

4. После экспозиции углеводородами количество фенолов в листьях растений увеличилось в 1,5 (клен ясенелистный, сосна обыкновенная, тополь черный, яблоня ягодная) - 3 раза (береза повислая, ива белая) от контроля. Наиболее повреждаемым видом оказался клен ясенелистный.

5. Низкая степень повреждения листьев техническим углеродом отмечена у тополя черного. Аккумуляция техуглерода листьями тополя черного в 4 раза выше, чем листьями березы повислой и яблони ягодной, и примерно в 1,5 раза выше, чем листьями клена ясенелистного, ивы белой и сосны обыкновенной. Высокоэффективными в улавливании технического углерода и устойчивыми к действию этого токсиканта являются также липа мелколистная, черемуха птичья, клен платанолистный, клен татарский, дуб черешчатый, роза морщинистая.

6. Физиологическая оценка устойчивости древесных растений к выбросам промышленного предприятия показала, что для создания санитарно-защитных зон наиболее оптимальными видами являются тополь черный, яблоня ягодная и ива белая.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. В качестве видов, способных к эффективной аккумуляции сажи, рекомендуется использовать тополь черный, вишню войлочную, черемуху Маака, клен платанолистный, липу мелколистную, черемуху птичью, клен татарский, дуб черешчатый, розу морщинистую, вяз гладкий, иву белую, дуб черешчатый, боярышник кроваво-красный, ясень пенсильванский.

2. Для озеленения территорий с преимущественно углеводородным загрязнением рекомендуется высаживать яблоню ягодную и клен ясенелистный.

Результаты исследования отражены в следующих публикациях:

1. Малахова Е С., Еремеева В Г. Активность некоторых окислительных ферментов и рН гомогената листьев растений в зонах промышленного загрязнения // Естественные науки и экология: Ежегодник: Межвузовский сб. науч. трудов. Вып. 5. Омск, 2000. С. 42-50.

2. *Малахова Е.С., Еремеева В.Г.* Исследование пигментного комплекса растений в различных газодинамических зонах // Природа, природопользование и природообустройство Омского Прииртышья: Материалы III областной научно-практической конференции, 5 декабря 2001 г. Омск, 2001. С. 16-18.

3. *Малахова Е.С.* Некоторые физико-химические характеристики растений в условиях техногенного загрязнения // Естественные науки и экология: Ежегодник: Межвузовский сб. науч. трудов. Вып. 6. Омск, 2001. С. 213-217.

4. *Малахова Е.С.* Аккумуляция растениями техногенной пыли сажевых заводов // Научная молодежь — XXI веку: Материалы межвузовской конференции молодых ученых, 21 апреля 2001 г. Сургут, 2001. С. 97-98.

5. *Малахова Е.С.* Аккумуляция древесными растениями и фитотоксичность газообразных фенольных соединений // Экология 2003: Материалы Международной конференции молодых ученых и специалистов, 17-19 июня 2003 г. Архангельск, 2003. С. 47-48.

Лицензия ЛР № 020074

Подписано в печать 19.11.04
Бумага офсетная
Усл. печ. л 1,17
Тираж 100 экз.

Формат 60x90/16
Ризография
Уч.-изд. л. 1,25
Заказ RE 050-04

Издательство ОмГПУ: 644099, Омск, наб. Тухачевского, 14

