

П. П. ЧУВАЕВ
Ю. З. КУЛАГИН
Н. В. ГЕТКО

Вопросы индустриальной экологии и физиологии растений



ЦЕНТРАЛЬНЫЙ БОТАНИЧЕСКИЙ САД
АКАДЕМИИ НАУК БЕЛОРУССКОЙ ССР

П. П. ЧУВАЕВ, Ю. З. КУЛАГИН, Н. В. ГЕТКО

Вопросы
индустриальной
экологии
и физиологии
растений

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА И ТЕХНИКА»
МИНСК 1973

УДК 632.151+58.5+581.1

Ч82
581.5

Вопросы индустриальной экологии и физиологии растений. Ч у в а е в
П. П., К у л а г и н Ю. З., Г е т к о Н. В. «Наука и техника». Мн., 1973.

Брошюра посвящена вопросам поиска рациональных путей охраны биосфера, способам обеспечения в ней необходимого для жизни человека баланса между углекислотой и кислородом и поддержания определенного минимума фотосинтезирующей листовой поверхности. Рассматривается влияние токсических промышленных выбросов на физиологические процессы в растениях и указываются важнейшие пути борьбы с загрязнением биосфера отходами промышленности.

Представляет интерес для ботаников, фитофизиологов, экологов, специалистов по зеленому строительству.

Табл. 9, библиогр. : с. 46—52.

Ответственный редактор
заслуженный деятель науки БССР,
академик АН БССР, доктор биологических наук,
профессор Н. В. СМОЛЬСКИЙ

Ч $\frac{0446-108}{М 316-73}$ 88-73

(C) Издательство «Наука и техника», 1973 г.

ВВЕДЕНИЕ

Основная роль зеленых насаждений в биосфере определяется процессом фотосинтеза, осуществляется ими хлоропластами: фотолизом воды с выделением молекулярного кислорода в атмосферу и восстановлением (водородом) углекислого газа воздуха до уровня углеводов. Фотолиз воды осуществляется фотосинтетическими системами II и I [1, 2], содержащими коротковолновый и длинноволновый хлорофилл *a*. В итоге работы этих фотосистем накапливаются АТФ и НАДФН₂, необходимые для восстановления СО₂ [2]. Хлорофилл *b*, который образуется из хлорофилла *a* [3, 4], является очень важным для роста и накопления сухой биомассы растениями [5]. В электронно-транспортных цепях он, по-видимому, не участвует, а передает поглощенные им кванты света непосредственно длинноволновому хлорофиллу *a* [6, 2].

Восстановление СО₂ представляет собой цепь темновых ферментативных процессов. Известны два их пути:

1. С₃-фотосинтез, или цикл Кальвина — Бенсона, когда основным промежуточным продуктом фиксации СО₂ является 3-фосфоглицериновая кислота (характерен для большинства двудольных растений).

2. С₄-фотосинтез, или фотосинтез типа Хетча — Слека, когда основным промежуточным продуктом являются дикарбоновые кислоты, по-видимому, яблочная кислота. Этот путь характерен для кукурузы, сахарного

тростника и близких к ним растений [7, 8]. Чем большей суточной и годичной продуктивностью фотосинтеза в условиях предприятия или населенного пункта отличается тот или иной вид растений, тем лучше выполняет он свою основную гигиеническую функцию.

Кроме того, зеленые насаждения способны очищать воздух от различных токсических загрязнений промышленности и автотранспорта. А что значит чистый воздух для здоровья, видно из следующего примера: взрослый человек должен потреблять в сутки 700—800 г белков, углеводов и жиров вместе с витаминами и макро- и микроэлементами солей и 1,5 кг воды, а воздуха через свои легкие он должен пропускать ежесуточно 50,0 кг.

Рост содержания углекислоты в атмосфере нашей планеты за последние полвека обусловлен неполным использованием в процессе фотосинтеза углекислоты, выделяемой топками промышленных предприятий [9]. Начиная с конца XIX в. количество углекислоты в атмосфере возросло на 10—15% [9, 10]. Это объясняется усилением сжигания топлива промышленными предприятиями и выделением углекислоты в других производственных процессах. Почему же эта углекислота не потребляется сразу растениями в процессе фотосинтеза, ведь фотосинтез в природе ограничивается в первую очередь недостатком углекислоты в атмосфере? Видимо, выделяемая промышленностью углекислота горения потребляется в процессе фотосинтеза не сразу и не полностью, резко отличаясь этим от природной атмосферной углекислоты и углекислоты, получаемой химическим путем из различных карбонатов. Это предположение интересно и заслуживает экспериментальной проверки по многим аспектам. П. П. Чуваевым за ряд лет получены данные, свидетельствующие о том, что углекислота аэробного дыхания в отличие от углекислоты брожения,

атмосферной и карбонатной также сразу при образовании неусвояема в процессе фотосинтеза. На прямом солнечном свету она становится почти полностью усвоемой через 2,0—2,5 час. На слабом рассеянном свету и в темноте она усвоема только на 8—10% за сутки.

В наших опытах белые мыши быстрее гибли на свету в тех камерах, где находились еще побеги винограда, вишни, тополя или карагача. Это объясняется тем, что растения не могли сразу усваивать углекислоту дыхания мышей в процессе фотосинтеза и, кроме того, сами дышали. Может быть, наши данные противоречат классическим опытам Пристли, положившим начало учению о фотосинтезе? Нет. Дело в том, что в опытах Пристли веточка мяты росла в воздухе, «испорченном» дыханием мыши, до 10 суток [11]. За это время углекислота дыхания могла стать усвоемой мнимум на 70—75% (спонтанно в темноте), а фактически больше, так как опыты Пристли вслись, по-видимому, на свету. Для разложения же регенерированной (на 75% и более) углекислоты дыхания в процессе фотосинтеза требовалось всего 20—30 мин.

Углекислота горения, с одной стороны, и углекислота аэробного дыхания, с другой, неусвояемы после образования, вероятно, потому, что валентные электроны составляющих их элементов находятся в это время в особом, возможно, еще неизвестном современной квантовой химии состоянии. Если углекислота дыхания выделяется из предварительно меченого C_{14} материала, то усвоемость ее во много раз повышается. Объясняется это тем, что вылетающие из C_{14} электроны, соударяясь с молекулами CO_2 дыхания, становятся на место «испорченных» валентных электронов составляющих их элементов, или как-то «исправляют» эти электроны.

На территории промышленных предприятий в крупных городах наряду с общим повышением концентрации

углекислоты в воздухе большой удельный вес имеют углекислота горения и углекислота дыхания. Надо позаботиться о создании условий быстрого и полного их фотосинтетического усвоения. Этого можно достичнуть хорошей освещенностью и многоярусностью зеленых насаждений. Общее содержание углекислоты на улицах городов можно снизить и путем проветриваемости: расположения строений с учетом розы господствующих ветров.

В настоящее время главным является восстановление и поддержание нормального баланса углекислоты и кислорода в биосфере нашей планеты. Это достигается созданием и постоянным поддержанием определенного размера фотосинтезирующей поверхности на нашей Земле. Только освоив в промышленных масштабах искусственный фотосинтез, человек станет подлинным господином природы [12]. Ученых сейчас начинает волновать вопрос о судьбе молекулярного кислорода в биосфере. Как подчеркнул академик А. П. Виноградов [14] на собрании, посвященном проблемам охраны окружающей среды и рационального использования биологических ресурсов, потребление кислорода промышленностью гигантски растет. В США одни только автомобили (100 миллионов) потребляют в два раза больше кислорода, чем его создается природой. Интересные данные привел и член-корр. АН СССР В. А. Ковда. Оказывается, «необратимые потери земельных ресурсов в мире за историческое время достигли огромной величины — 20 миллионов квадратных километров, т. е. превышают современную пахотную площадь планеты (15 миллионов км^2). Главные потери земельного фонда вызываются застройками поселков и городов, предприятиями, шахтами, нефтепромыслами, дорогами, эрозией, засолением» [14]. Но необходимо учесть, что процессы урбанизации, роста различных видов

дов промышленности и дорожной сети необратимы и будут продолжаться. Диалектика жизни такова, что урбанизация и технический прогресс, вызывая экологический конфликт между человеком и природой, создают вместе с тем и средства для его разрешения. Необходимо рационально использовать для продуцирования кислорода дополнительные большие площади, создаваемые самой урбанизацией. Ведь площадь стен всех зданий в современных городах гораздо больше занимаемой ими земельной площади. И если использовать в дополнение к паркам и скверам, аллеям и газонам стены зданий жилых и промышленных сооружений для вертикального озеленения, то общая ассимилирующая углекислоту поверхность листьев в городах может даже возрасти. Вертикальное озеленение будет помогать также в борьбе с шумом и температурным дискомфортом, не говоря уже о его огромном эстетическом значении. Во всех помещениях городов, на промышленных предприятиях растения в будущем следует выращивать на гравийных, песчаных или еще лучше ионитных средах, пропитанных необходимыми минеральными макро- и микроэлементами, а не на почве, так как почва, богатая перегноем, выделяет в результате деятельности ее микробов много углекислоты, которой в городах и без того избыток. Необходимо принимать меры к тому, чтобы эта углекислота ассимилировалась растениями в местах своего образования, так как вынесенная воздушными течениями в верхние слои атмосферы, особенно в надокеанические просторы, она становится практически недоступной для растений, содержание ее растет [8, 9], что приводит к повышению температуры воздуха и воды в океанах и является причиной ускоренного таяния льдов в Арктике и Антарктиде.

Нельзя забывать также замечательные слова К. А. Тимирязева [13] о том, что главным кормильцем человечка

является не земля (почва), а растение. Поэтому ущерб, который причиняет водная эрозия, может быть компенсирован быстрым облесением правильно подобранными древесными породами и залужением уже образовавшихся оврагов, поскольку площадь под растительностью из-за изрезанности рельефа оврагами увеличивается. С другой стороны, быстрое облесение и залужение оврагов приостановит сам процесс водной эрозии, который для сельского хозяйства, несомненно, убыточен.

Надо максимально повышать продуктивность зеленых насаждений в реально сложившейся экологической обстановке (с учетом ее возможных ближайших изменений), избегая ошибок, характерных для некоторых приемов «переделки» природы. Например, осушительная мелиорация должна осуществляться с таким расчетом, чтобы не уменьшать фотосинтезирующей способности окружающих осушаемые территории лесов, полей и болот.

По мере роста городов в воздухе будет увеличиваться содержание углекислоты промышленного происхождения и углекислоты дыхания людей. В этих экологических условиях важно выращивать растения с максимальной суточной и годичной (вечнозеленые формы, хвойные интродукенты) продуктивностью фотосинтеза.

ЦБС АН БССР первым в Белоруссии по инициативе акад. Н. В. Смольского начал исследования в области индустриальной экологии и физиологии растений.

Токсические выбросы промышленности и транспорта вынуждают подбирать для озеленения городов газовыносливые виды растений и виды с высокой поглотительной способностью токсикантов, а также разрабатывать специфические меры ухода за растениями на загазованных территориях. Эти меры могут существенно различаться на разных предприятиях в зависимости от химического состава выделяемых ими загрязнителей.

КРАТКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В мировой литературе к настоящему времени накоплена обширная информация о том, что в районах сосредоточения промышленных предприятий в биосфере происходят значительные и разнообразные изменения, сопровождающиеся повреждением растительности на больших территориях [14—20]. Однако все попытки учесть эти потери [21—23] нельзя назвать удачными, поскольку существующие методы диагноза повреждений растений промышленными эмиссиями [24—27] не дают достаточно точных результатов.

Устойчивость растений к токсическим газам различна в пределах рода, вида и даже популяции, у одного и того же растения на разных этапах его роста и развития, при различных почвенно-климатических условиях, обеспеченности элементами питания и т. д. [15, 28—35].

Многие современные исследования связаны с изучением и выявлением признаков газоустойчивости растений, в частности физиолого-биохимических [34—39], анатомо-морфологических [40, 41], генетических [42—45]. Однако, несмотря на глубину и исключительную плодотворность этих исследований, мы до сих пор не располагаем точными сведениями о причинах различий газоустойчивости растений.

В данной работе авторы придерживаются экологической, или преадаптационной, концепции [46—48], пред-

ставляющей собой дальнейшее развитие взглядов Н. П. Красинского [37] и основанной на том, что у растений нет специальной защитной приспособленности к такому специальному фактору, как загрязнение атмосферного воздуха. Можно лишь предположить существование у растений преадаптированности, т. е. таких защитных приспособлений, которые были выработаны ранее к другим неблагоприятным факторам среды.

На основании этого целесообразно выделить анатомическую, физиологическую, анабиотическую, регенерационную, популяционную и фитоценотическую формы газоустойчивости растений. Изучение последней в различных зонально-географических и промышленных условиях позволяет полнее оценить устойчивость и адаптивные возможности каждого вида.

Следует отметить, что в последнее время появляются работы, связанные с исследованием способности растений поглощать из атмосферы токсические газообразные соединения [49—51]. Пока эти исследования носят характер частных задач. В дальнейшем они должны решаться на основе индустриальной экологии [48], которая как часть общей экологии и биогеоценологии обеспечивает более благоприятные условия для разработки научных основ и методов нормализации биосфера и определения путей ее эволюции.

ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДУЕМЫХ РАЙОНОВ И ГАЗОУСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ

Объектом наших исследований служили лесопарковая зона Минского тракторного завода (МТЗ), ТЭЦ-3 (Минск) и районы Полоцкого нефтеперерабатывающего

завода (НПЗ). Были выделены некоторые особенности заражения этих районов исходя из данных Минской городской санэпидстанции и исследований, проводимых Центральным ботаническим садом АН БССР на территории Полоцкого НПЗ [63]. Загрязнение атмосферного воздуха двуокисью серы в этих районах представляет собой мощный экологический фактор, и для выживания растений в указанных условиях особенности почвы имеют большое значение.

Лесопарковая зона Минского тракторного завода и территория Ботанического сада представляют собой участки когда-то единого лесного плато и имеют в основном сходные по механическому составу легкие супесчаные почвы.

Территория Полоцкого НПЗ расположена на бывшем болотном массиве, имеет высокий уровень грунтовых вод, суглинистые, реже супесчаные почвы, богатые кальцием и основаниями. Как было установлено, гибель деревьев, находящихся в неблагоприятных условиях местопроизрастания и одновременно подверженных воздействию вредных газов (SO_2 и др.), наступает тем быстрее, чем выше концентрация в воздухе токсических веществ и чем сильнее выражены неблагоприятные почвенные условия. Избыточное количество сульфат-ионов в почве в ряде пунктов на территории завода вносит существенную погрешность при изучении процессов накопления листьями атмосферной серы. Для наблюдения выбраны участки, сходные с контрольными в Центральном ботаническом саду не только по агрохимическому и механическому составу почв, но и по содержанию в них сульфат-ионов. Это центральная заводская лаборатория Полоцкого НПЗ и прилегающие к ней участки, где к началу изучения насчитывалось 36 видов деревьев и кустарников в возрасте 15—20 лет.

Таблица 1

**Газовыносливость исследованных видов деревьев и кустарников
в различных режимах загрязнения атмосферного воздуха
двуокисью серы и парами серной кислоты**

Вид*	Естественное происхождение	Газоустойчивость в условиях БССР, мг/м³	Биология вида
Тuya западная	Сев. Америка	Успешно переносит концентрации двуокиси серы 1—7, паров серной кислоты 0,1—0,8	Зимостойка. Глодоносит. Весна декоративна. Устойчива к заболеваниям
Пихта однолистная	Запад Сев. Америки	Газоустойчива, успешно призрастает в условиях зараженного атмосферного воздуха и переносит концентрации двуокиси серы 0,5—1,5	Очень светолюбива. Теневыносила. Зимостойка. Растет быстро. Декоративное дерево, эффективна в групповых и одиночных посадках
Лиственница сибирская	Сибирь	Газоустойчива. Переносит концентрацию SO_2 в воздухе 0,5—1,5	Под материнским пологом растет неудовлетворительно. Успешно растет на всех почвах, но не выносит засухи
Ель обыкновенная	Аборигенный вид	Чувствительна к задымлению. Способна расти в районах, где концентрация двуокиси серы в атмосферном воздухе не превышает 0,2	К климатическим условиям требовательна, зимними морозами не выдерживается, плохо переносит сухость и заболоченность почвы. Избыточное проточное увлажнение

Ель коло-чая	Сев. Америка	Весьма газоустойчива. Растет вполне удовлетворительно без заметного нарушения охвояния при концентрации двуокиси серы в атмосферном воздухе 1,5—5	Предпочитает песчаные и суглинистые почвы, являющиеся лучшими для нее. Теневынослива.
Сосна обыкно-венная	Абориген-ный вид	Чувствительна к задымлению атмосферного воздуха. Без видимых повреждений переносит концентрацию двуокиси серы в атмосферном воздухе не выше 0,1—0,2	Растет в очень различных экологических условиях, занимая весьма обширный ареал главным образом на песчаных и супесчаных почвах. Встречается иногда на торфянистых, реже на глинистых почвах
Клен гин-нала, или приреч-ный	Советский Дальний Восток, Сев. и Центр. Китай, Корея	В условиях промышленных районов БССР газоустойчив, успешно переносит концентрацию двуокиси серы 1,5—7, паров серной кислоты — 0,2—0,8	Светолюбив, под пологом леса не растет. Зимостоек. Высоко декоративен, особенно осенью, когда его плоды и листья становятся ярко-карминными
Клен ясе-нелист-ный, или американ-ский	Сев. Америка	Вполне газоустойчив, успешно произрастает, при концентрации в воздухе до 5	Растет быстро, но недолго-вечен. Пригоден для посадки на улицах и скверах в защитных полосах. Сравнительно засухоустойчив. Морозостоек

Продолжение табл. 1

Вид	Естественное происхождение	Газоустойчивость в условиях БССР, мг/м	Биология вида
Клен остролистный, или платановидный	Европейская часть СССР, Зап. Европа	Без видимых повреждений переносят умеренное задымление атмосферного воздуха двуокисью серы 1—3	Жет расти в различных условиях, но предпочитает глубокие свежие почвы, на бедных песчаных развиваются хуже
Клен ложноплатановый, или белый, явор		В промышленных районах способен произрастать в зонах умеренного задымления атмосферного воздуха двуокисью серы 1—3	Очень теневынослив. Требует к богатой почве. В условиях промышленных районов газоустойчив. Декоративен
Клен се ребристый	Сев. Америка	»	Предпочитает плодородную, глубокую, свежую почву, успешно развивается и на легких (песчаных, супесчаных) достаточно увлажненных. Теневынослив. Технически ценное, высоко декоративное дерево, заслуживает широкого применения в зеленом строительстве, особенно его плакучие формы

Барбарис Тунберга	Япония, Китай	Переносит концентрацию двуокиси серы не выше 0,8—1, паров серной кислоты 0,09	Любят залежные почвы. Пригоден для закрепления берегов оросительных систем
Береза пущистая	Европей- ская часть СССР, Зап. Европа	Успешно произрастает в зонах слабого постоянного за- дымления атмосферного воздуха — двуокисью серы 0,2—1,5	Предпочитает сырье места, окраины болот, морозо-устойчива
Береза бородав- чатая	Европей- ская часть СССР, Кавказ, Зап. Си- бири, Ал- тай, Зап. Европа	Удовлетворительно перено- сит слабое постоянное за- дымление атмосферного воз- духа — двуокисью серы 0,2—1,5	Растет успешно, обильно возобновляется
Жимо- лость та- тарская	Восток и юг европейской ча- сти СССР, Алтай, Средняя Азия	Успешно переносит посадку в городских условиях и кон- центрацию двуокиси серы не выше 1—2	Растет на различных поч- вах, мирится с засолением. Засухоустойчива. Зимостой- ка. Весьма декоративный кустарник
Снежно- ягодник белый	Сев. Аме- рика	Газоустойчив. Способен ра- сти в зонах периодического сильного задымления ат- мосферного воздуха дву- окисью серы 4—8	В условиях зимой обмерзают побеги. Весьма декоративный ку- старник

Продолжение табл. 1

Вид	Естественное происхождение	Газоустойчивость в условиях БССР, мг/м³	Биология вида
Дерен белый	Восток европейской части СССР, Сибирь, Сов. Дальний Восток, Монголия, Корея, Сев. Китай, Япония	Очень газоустойчив. Успешно переносит периодическое сильное задымление атмосферного воздуха двуокисью серы 4—8	Растет на влажных местах вдоль берегов рек и ручьев, на пойменных лугах. К почве нетребователен. Декоративный кустарник
Дуб чешечатый	Европейская часть СССР, Сев. Кавказ, Зап. Европа	»	Требователен к богатству почвы. Теневынослив. Зимоморозостойкий
Карагана древовидная	Зап. Сибирь, Саяны, Вост. Казахстан, МНР	Весьма газоустойчивый вид. Успешно переносит присутствие в атмосферном воздухе двуокиси серы в концентрации 2—4	Растет на песках и галечниках, по лесным опушкам, по склонам оврагов. Декоративный кустарник. Зимоморозостойкий
Робиния лжекакция	Сев. Америка	Способна пронизрастать в зоне задымления атмосферного воздуха двуокисью серы 0,5—2,0	Реликт третичного периода. Предполагает глубокие почвы, содержащие известье. Светолюбива, ветро- и засу-

Сирень обыкновенная	Юго-Восточная Европа	Очень газоустойчива. Переносит периодическое сильное задымление атмосферного воздуха двуокисью серы 4—8	Растет на любых почвах, но предпочитает богатые и влажные с большим содержанием известия. Засухоустойчива.	Хорошоустойчива. Декоративное дерево
Ясень обыкновенный	Европейская часть СССР, Крым, Кавказ, Средняя Европа, Средиземноморье	Газоустойчив. Успешно пронизрастает в условиях задымления атмосферного воздуха двуокисью серы в концентрации 2—5, паров серной кислоты — 0,09	Растет в дубравах. Светолюбив. Страдает от поздних весенних заморозков	Светолюбив. Страдает от поздних весенних заморозков
Ясень пенсильванская	Сев. Америка	Повреждается, если в атмосферном воздухе присутствует двуокись серы выше 2	Засухоустойчив. Зимостоек	Зимостоек
Боярышник кровавокрасный	Вост. Сибирь, Средняя Азия, Монголия	Газоустойчив. Переносит концентрации в атмосфере воздухе 1,82—6,4 и паров серной кислоты 0,09—0,2	Растет на опушках, по берегам рек, очень зимостоек	К почве нетребовательна, зимостоек
Боярышник мягковатый	Сев. Америка	»	Очень зимостоек, светолюбив, неприхотлив	К почве нетребовательна, зимостоек
Роза морщинистая	Дальний Восток, Китай, Корея, Япония	Газоустойчива. Переносит концентрации в атмосфере воздухе 1,82—6,4 и паров серной кислоты 0,09—0,2	Газоустойчива. Переносит концентрации в атмосфере воздухе 1,82—6,4 и паров серной кислоты 0,09—0,2	Газоустойчива. Переносит концентрации в атмосфере воздухе 1,82—6,4 и паров серной кислоты 0,09—0,2

Продолжение табл. 1

Вид	Естественное происхождение	Газоустойчивость в условиях БССР, мг/м³	Биология вида
Черемуха обыкновенная	Европейская часть СССР, Кавказ, Сибирь, Зап. Европа, Афганистан	Переносят концентрации двуокиси серы в воздухе 0,8—3,9, паров серной кислоты — 0,09	Растет вдоль берегов рек, на богатых аллювиальными почвах
Тополь бальзамический	Сев. Америка	Газоустойчив. Без заметных повреждений, произрастает при концентрации в воздухе до 7	Светолюбив. Приуочен к поймам рек. К почве требователь
Тополь берлинский	Гибрид	Успешно произрастает в зоне сильного задымления атмосферного воздуха SO_2 до 7	»
Тополь лавролистный	Зап. и Вост. Сибирь, Вост. Казахстан, МНР		Растет по склонам рек, на щербинистых местах. Предпочитает влажную почву
Тополь Симона, или китайский	Гарбогатай, Джунгарский и Заилийский Алатау, МНР, Сев. Китай.	Листья этого вида газоучи- ствительны, рекомендуется высаживать в местах, где концентрация SO_2 в воздухе не превышает 1,5—2	Устойчив к сухости воздуха и почвы

			Растет по берегам рек, занесенных на галечных отложениях
#*	Тополь душистый	Вост. Сибирь, сев. часть МНР, Сев. Китай	Довольно газоустойчив. Успешно переносит концентрации в воздухе SO_2 до 4—5
	Осина дрожащая	Европа, Сибирь, сев. часть МНР, Сев. Китай, Сев. Корея, МНР, Казахстан, Крым, Кавказ	Повреждается при концентрации SO_2 в воздухе свыше 2—3
	Тополь канадский	Сев. Америка	Очень газоустойчив. Успешно произрастает в условиях постоянного умеренного и периодического сильного задымления атмосферного воздуха двуокисью серы выше 8
	Ива белая, ф. желтая плаучая	Европа, Азия	Газоустойчива. Успешно произрастает в зоне постоянного умеренного задымления атмосферного воздуха двуокисью серы 4—5
	Липа мелколистная, или сердцевидная	Европейская часть СССР, Крым, Кавказ, Урал, Зап. Сибирь, Зап. Европа	Переносит концентрации в SO_2 в атмосференом воздухе не выше 0,02
			Любит влажные плодородные почвы, неудовлетворительно переносит бедные почвы. Светолюбив. Мало повреждается насекомыми и грибными заболеваниями
			Растет по берегам рек, ручьев, на плавнях, в поймах. Чувствительна к морозам, сильно повреждается насекомыми, но очень декоративна.
			Может входить в лесные культуры

Проведенные исследования позволили пока ориентировочно установить те пределы загрязнения атмосферного воздуха двуокисью серы, в которых достаточно успешно произрастают некоторые виды деревьев и кустарников. Оказалось, что интродуценты, как правило, отличаются более высокой устойчивостью по сравнению с аборигенами, обладают большими адаптационными возможностями в приспособлении к новым экологическим факторам, в том числе и к загрязненному атмосферному воздуху. Причем виды североамериканского и дальневосточного происхождения наиболее выносливы в этих условиях (табл. 1). Это естественно, так как опыт интродукции растений в Белоруссию показал, что Дальний Восток и Северная Америка являются богатейшими источниками новых полезных растений для наших широт. В дендрологических коллекциях Центрального ботанического сада АН БССР наиболее полно представлена дендрофлора Дальнего Востока (462 вида и формы). Второе место (407 видов и форм) занимает экспозиция дендрофлоры Северной Америки. Реакция растительного организма на газообразный токсикант может быть разной и зависит от совокупности физиологического-биохимических, анатомо-морфологических и других биологических особенностей.

ИЗМЕНЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ФОТОСИНТЕЗА У РАСТЕНИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ДВУОКИСИ СЕРЫ

Многие компоненты, входящие в состав атмосферных загрязнителей, способны образовывать в растениях фитотоксические соединения. Это вызывает в организме целый ряд нарушений, связанных с торможением или сти-

мулированием определенных физиолого-биохимических процессов. Поскольку механизм этих нарушений до сих пор не ясен, то наибольший интерес в этом отношении представляет изучение тех растений, у которых газообразный токсикант еще не вызвал серьезных структурных и функциональных нарушений и видимые признаки повреждения отсутствуют.

Интенсивность фотосинтеза в связи с газоустойчивостью растений исследовалась многочисленными отечественными и зарубежными авторами [34, 53, 39, 52, 57]. Большинство их свидетельствуют о снижении интенсивности фотосинтеза у растений под влиянием газообразных токсикантов. Нами было изучено влияние экспериментального окуривания двуокисью серы на интенсивность фотосинтеза у листьев некоторых местных и интродуцированных видов деревьев и кустарников в условиях Центрального ботанического сада АН БССР. Для этого на модельном дереве выбирались 2 ветви, имеющие равное количество листьев, находящиеся на одинаковом расстоянии от поверхности почвы и в одинаковых условиях освещенности. Одна из ветвей в дальнейшем подвергалась экспериментальному окуриванию (опытная), другая служила контролем. В опыте применяли концентрацию двуокиси серы 0,5—1,0 мг/л. На обе ветви (контрольную и опытную) одевали полиэтиленовые камеры объемом 50 л. Газ вводили в камеру с опытной ветвью через резиновый шланг. Время экспозиции 10 мин (с 11.00 до 11.10 час). Окуривание столь сильной концентрацией газа происходило один раз в месяц и трижды за вегетационный период (июнь, июль, август). Обработанные двуокисью серы ветви не получили каких-либо видимых повреждений за время эксперимента. Лишь у караганы древовидной после второго окуривания в июле и у березы бородавчатой в августе был обнаружен незна-

чительный хлороз окуренных листьев. У листьев испытуемых видов исследовали интенсивность фотосинтеза изотопным методом. Результаты представлены в табл. 2.

Интенсивность фотосинтеза у листьев, подвергнутых окуриванию, определялась нами в отличие от других исследователей не сразу после окуривания [36, 38, 52], а спустя некоторый срок (1 месяц), достаточный для того, чтобы все физиологические процессы, в том числе и интенсивность фотосинтеза, нарушенные воздействием токсического газа, стабилизировались [53]. Исходя из результатов, представленных в табл. 2, можно сделать вывод о том, что у большинства видов, не имевших каких-либо видимых повреждений при искусственном фумигировании их двуокисью серы, определенные сдвиги в ходе интенсивности фотосинтеза все-таки произошли. Их можно разделить на три группы:

I группа — виды, повышающие интенсивность фотосинтеза под влиянием сильных газовых атак в период бегетации (карагана древовидная, клен серебристый, клен явор, липа войлочная, робиния лжеакация).

II группа — виды, снижающие интенсивность фотосинтеза под влиянием сильных газовых атак (береза бородавчатая, дуб черешчатый, жимолость татарская, клен остролистный, липа крупнолистная).

III группа — виды, у которых интенсивность фотосинтеза приходит к норме спустя некоторое время (дерен белый, клен ясенелистный, сирень обыкновенная, снежноягодник белый, тополь канадский).

Полученные результаты дают основание полагать, что каждый вид растений реагирует по-своему на действие такого экстремального фактора, как газовая атака. Что же касается интенсивности фотосинтеза, то и увеличение и снижение ее могут в равной степени обеспечить видам необходимую в этих условиях газовыносливость.

Таблица 2

Интенсивность фотосинтеза листьев контрольных и обработанных двуокисью серы ветвей некоторых древесных и кустарниковых пород, $\text{мкм}/\text{мин}$ (вариационно-статистическая обработка данных)

Вид	Вариант	\bar{x}	\bar{x}	t
Береза бородавчатая	контроль опыт	237 53	13,3 3,75	3,4
Дерен белый	контроль опыт	1035 832	56,0 38,0	2,8
Люб черешчатый	контроль опыт	915 652	13,7 48,0	3,8
Жимолость татарская	контроль опыт	856 570	35,1 28,0	5
Карагана древовидная	контроль опыт	334 616	30,3 35,2	4,9
Клен серебристый	контроль опыт	253 326	17,5 12,6	3,2
Клен остролистный	контроль опыт	845 160	70,0 16,0	4,4
Клен явор	контроль опыт	224 410	20,2 37,1	6,0
Клен ясенелистный	контроль опыт	211 143	2,3 13,2	2,3
Липа войлочная	контроль опыт	238 570	31,9 47,1	4,1
Липа крупнолистная	контроль опыт	206 82	13,1 8,0	5,8
Робиния лжеакация	контроль опыт	1252 2614	142,6 81,8	6,0
Сирень обыкновенная	контроль опыт	292 224	6,7 19,0	2,3

Продолжение таблицы 2

Вид	Вариант	\bar{x}	\bar{x}	t
Снежноягодник белый	контроль	528	37,0	2,5
	опыт	662	43,7	
Тополь канадский	контроль	144	22,1	2,2
	опыт	166	10,4	

Однако наиболее газоустойчивыми при произрастании на территории Полоцкого НПЗ оказались растения, отнесенные нами к III группе. Эти виды способны переносить значительно более высокие дозы токсикантов в атмосферном воздухе, чем остальные растения. Стабильность процессов, по-видимому, обеспечивает больший запас устойчивости растениям в неблагоприятных условиях произрастания. Интересны также случаи повышения интенсивности фотосинтеза у некоторых видов под влиянием газообразного токсиканта. Эти виды устойчивы и могут представлять большой интерес для улучшения окружающей среды в городах и промышленных центрах (карагана древовидная, клен серебристый, клен явор, липа войлочная, робиния лжеакация). Знание биологии вида и всестороннее изучение его адаптационных возможностей позволит надежнее подбирать растения для озеленения промышленных районов.

Установленный нами, а также другими авторами [57] факт повышения интенсивности фотосинтеза у растений под влиянием двуокиси серы пока трудно объяснить. Можно лишь предположить, что восстановление ионов сульфата SO_4^{2-} , образовавшихся в листьях при поглощении ими сублетальных доз двуокиси серы, обеспечивает растение некоторым количеством кислорода, которое рас-

ходится для окислительных процессов. Это стимулирует образование зеленых пигментов, что, по-видимому, ведет к некоторому повышению интенсивности фотосинтеза.

УСТЬЧИЧНЫЙ АППАРАТ ЛИСТЬЕВ И ГАЗОУСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ

Загрязнение атмосферного воздуха как экологический фактор стало объектом внимания в эволюционном плане сравнительно недавно. Растения еще не успели выработать по отношению к нему специальных средств защиты, они используют уже имеющиеся.

При эпизодических и периодических газовых атаках средней интенсивности решающее значение в газоустойчивости имеет мощность развития покровных тканей и ксероморфность листьев. Важную роль в проявлении газоустойчивости растений играет также устьичный аппарат листьев, посредством которого осуществляется газообмен и происходит проникновение газов внутрь листа [36, 54, 34].

В. С. Николаевский [42] считает, что древесно-кустарниковые породы, обладающие большим количеством мелких устьиц, способны лучше регулировать интенсивность газообмена. Другие же авторы [55, 37, 34] отмечают, что количество устьиц не коррелирует с газоустойчивостью растений. Третьи придерживаются мнения [56], что под влиянием двуокиси серы уменьшается степень открытия устьиц.

Устьичный аппарат исследовался нами у шести представителей рода *Populus* L., двух представителей рода *Fraxinus* L. и двух представителей рода *Betula* L., произ-

растящих на территории Полоцкого нефтеперерабатывающего завода. Контрольные образцы брали на территории, находящейся вне задымления (ЦБС АН БССР). Результаты исследований представлены в табл. 3 и 4.

Род *Populus* L.— Тополь. В пределах этого рода растения проявляют различную устойчивость к повреждающему действию промышленных газов. Высокой газовыносливостью отличаются тополь дельтовидный, или канадский, т. бальзамический, т. душистый. Тополя берлинский и лавролистный относятся к средне-повреждаемым видам на территории Полоцкого НПЗ. Тополь китайский оказался наиболее газочувствительным. Обожженные газом листья у этого вида опадают уже в конце июля — августе.

Как видно из данных табл. 3, у тополей канадского и бальзамического, как наиболее газовыносливых, количество устьиц в условиях задымления остается неизменным, зато размеры их значительно увеличиваются. То же самое можно сказать и о тополе душистом, у которого особенно заметно изменяется ширина устьиц, что в основном связано со степенью их открытия. У тополя берлинского в условиях задымления увеличиваются как размеры устьиц, так и их количество. Для тополя лавролистного, проявляющего одинаковую с тополем берлинским устойчивость к повреждению листьев промышленными газами, характерно уменьшение количества устьиц в опыте, хотя размеры их несколько увеличены. И лишь у тополя китайского, наиболее повреждаемого вида, при увеличении количества устьиц в опыте по сравнению с контролем (почти в 2 раза) размеры их не изменились.

Из шести изученных видов тополей лишь тополь китайский успешно переносит сухость воздуха и почвы. Приспособившись в условиях Полоцкого НПЗ к высокому уровню грунтовых вод путем усиленной транспирации

**Состояние устьичного аппарата листьев некоторых представителей рода
Populus L. в связи с их газоустойчивостью**

Вид тополя	Вариант	Количество устьиц				Длина устьиц, мм				Ширина устьиц, мк
		\bar{x}	s_x	t	\bar{x}	s_x	t	\bar{x}	s_x	
Бальзамический	опыт	132	4,7	2,0	46,7	1,4	4,0	20,1	2,5	3,3
	контроль	174	5,0	41,2	1,4	4,0	17,3	2,4	2,4	
Берлинский	опыт	136	4,5	3,3	45,9	1,9	2,7	30,2	2,1	3,7
	контроль	118	4,0	38,5	2,2	4,0	19,2	0,9	0,9	
Канадский	опыт	92	4,1	46,7	1,2	4,5	22,5	0,8	0,8	6,0
	контроль	89	4,4	2,7	35,7	0,3	4,5	15,1	1,7	
Душистый	опыт	192	8,8	1,2	46,7	1,2	1,3	23,3	0,9	3,8
	контроль	178	8,0	44,0	1,7	1,7	16,5	1,5	1,5	
Лавролистный	опыт	106	3,8	49,5	1,9	3,8	22,0	1,2	1,2	5,0
	контроль	146	4,4	7,0	42,0	1,1	4,0	13,0	0,8	
Китайский	опыт	307	9,0	9,1	45,9	1,3	0,0	19,2	1,4	0,0
	контроль	161	4,0	45,3	1,1	4,0	19,2	1,3	1,3	

Таблица 4
 Состояние устьичного аппарата листьев некоторых представителей
 рода *Betula* L. и рода *Fraxinus* L. в связи с их газоустойчивостью

Вид	Вариант	Количество устьиц			Длина устьиц, мкм			Ширина устьиц, мкм		
		\bar{x}	S_x^-	t	\bar{x}	S_x^-	t	\bar{x}	S_x^-	t
Береза бородавчатая	опыт контроль	145 106	25 13	4,8	10 17	2,1 2,5	7,0	7,0 11,0	1,2 2,4	4,4
Береза пушистая	опыт контроль	64— 100	13 16	6,4	18 21	2,4 3,3	3,3	11,0 12,0	1,7 2,3	1,4
Ясень обыкновенный	опыт контроль	334 286	39 51	3,2	11 14	2,5 2,4	0,3	5,0 7,0	1,0 1,09	5,0
Ясень пенсильванийский	опыт контроль	72 215	14 71	8,0	15 13	2,9 1,4	3,1	6,0 6,0	1,0 2,0	0,0

через увеличенное в несколько раз количество устьиц, он вместе с тем сильно повреждается токсическими газами. Другие тополя отличаются повышенной устойчивостью к задымлению на этой территории, почвенные условия для них благоприятны, а более мощно развитые замыкающие клетки устьиц способны противостоять токсическим газам.

Род *Fraxinus* L.— Ясень. Ясень обыкновенный отличается высокой газоустойчивостью, а ясень пенсильванский отнесён к наиболее поврежденным видам на территории Полоцкого НПЗ.

Как видно из табл. 4, для ясения обыкновенного характерно несколько большее количество устьиц в условиях задымления и уменьшение их размеров, особенно ширины, что вызвано их закрытием. У ясения пенсильванского меньшее число устьиц в опыте по сравнению с контролем (почти в 3 раза) не сопровождается изменением их размеров.

Род *Betula* L.— Береза. Береза бородавчатая и береза пушистая проявляют почти одинаковую устойчивость к воздействию промышленных газов, являясь в условиях Полоцкого НПЗ достаточно выносливыми породами. Количество устьиц в контроле и опыте у обоих видов изменяется по-разному: у березы пушистой уменьшается, у березы бородавчатой увеличивается. Размеры же устьиц у обоих видов уменьшаются. Эти данные свидетельствуют о том, что у каждого вида растений имеется свой способ защиты от задымления атмосферного воздуха газообразными соединениями (двуокисью серы и др.). Растения, не имеющие на нижней поверхности листьев опушеннности, плотно развитой кутикулы или воскового палета, препятствующих проникновению газов внутрь листа, приспособливаются к их повреждающему действию с помощью изменения своего устьичного аппарата.

Это обеспечивает лучшую выживаемость одним растениям и приводит к гибели других.

Результаты исследований устьичного аппарата листьев ряда древесных видов позволили нам сделать вывод о том, что ни увеличение количества устьиц в условиях задымления у тополя китайского (в 2 раза), ни уменьшение количества их у ясеня пенсильванского (в 3 раза) не обеспечивают этим видам газоустойчивости. Очевидно, решающая роль в приспособлении растений к задымлению состоит в их способности регулировать уровень газообмена путем изменения открытия устьичной щели (тополь дельтовидный, тополь бальзамический, ясень обыкновенный и др.), а также в способности самой протоплазмы противостоять токсическому действию двуокиси серы [66]. Повышенную чувствительность хвойных к этому газу отмечали также Н. П. Красинский [37], Е. И. Князева [41], Н. В. Подзоров [19].

ПОГЛОЩЕНИЕ И НАКОПЛЕНИЕ СЕРЫ РАСТЕНИЯМИ

Сера — существенный элемент питания растений. Она входит в состав многих биологически активных соединений: метионина, цистеина, глутатиона, тиоктиевой кислоты, коэнзима А, тиамина и др. Содержание органических соединений серы в листьях различных растений — довольно постоянная величина. Сухой остаток игл хвойных растений содержит обычно около 0,1% серы, широколиственных растений — 0,15—0,3%. При относительно постоянном содержании органической серы количество сульфатов в листьях различных растений может варьировать в широких пределах. При поглощении листьями сублетальных доз двуокиси серы она первоначально окисляется до сульфата [58—60], но некоторое количест-

во может быть восстановлено до органического сульфида. Эксперименты с мечеными атомами S³⁵ показали [60], что конечное распределение остается постоянным независимо от того, поглощается ли сера в виде сульфата корнями или в виде двуокиси серы листьями, хотя сульфат из-за большей подвижности в растении более эффективен как питательное вещество, чем двуокись серы. Чтобы установить максимальный уровень загазованности, который может быть устранен самими растениями, необходимо знать газопоглотительные возможности лесополос. Они должны рассматриваться как зеленый фильтр. В связи с этим следует выяснить возможности зеленого фильтра, в частности устойчивость растений к газам, интенсивность, продолжительность, динамику и общую емкость поглощения.

Результаты лабораторных исследований газопоглотительной способности листьев с помощью йодометрического метода представлены в табл. 5. Наибольшей газопоглотительной способностью обладают снежноягодник и карагана древовидная, минимальной — липа войлочная и клен серебристый. Следует иметь в виду, что липа войлочная и клен серебристый обладают низкой газопоглотительной способностью листьев вследствие их значительной опушеннности, препятствующей проникновению в мезофилл двуокиси серы. Эти данные согласуются с результатами анатомо-морфологических исследований листьев в связи с их газоустойчивостью [40, 41].

Из пяти изученных видов кленов наибольшей газопоглотительной способностью отличаются клен ясенелистный, клен явор и клен гиннала. Клен серебристый и клен остролистный поглощают на 1 m² листовой поверхности втрое меньше двуокиси серы. При рассмотрении данных, рассчитанных на абсолютно сухой вес листьев, максимальной газопоглотительной способностью характеризу-

ются клены ясенелистный и явор. В 2—3 раза меньше двуокиси серы поглощают клен серебристый, клен остролистный и клен гиннала. При перерасчете на 1 кг сырых листьев указанная закономерность сохраняется. Сопоставляя данные газопоглотительной способности, рассчитанные на листовую поверхность и вес листьев, следует отметить особое положение клена гиннала. Незначительная толщина листовой пластинки, малая мощность мезофилла являются, вероятно, причиной того, что расчет интенсивности поглощения на площадь дает более высокие показатели по сравнению с расчетом на единицу веса.

При изучении газопоглотительной способности листьев необходимо различать понятия интенсивности и емкости газопоглощения. Под интенсивностью газопоглощения мы понимаем количество газа (в данном случае двуокиси серы), поглощенное растением в единицу времени. Емкость газопоглощения — это количество газа, которое растение поглотит за весь период вегетации. Большинство испытанных видов, в том числе и местные (дуб черешчатый, клен остролистный и клен явор), обладает высокой газопоглотительной способностью. Очевидно, она связана прежде всего с анатомическим и морфологическим строением листьев различных видов деревьев и кустарников. Это особенно хорошо заметно на примере клена гиннала, клена серебристого, липы войлочной. Если принять общий вес листьев в кроне дерева равным 10 кг (в пересчете на сухое вещество), а кустарника — 3 кг [61], то выясним, сколько двуокиси серы поглощают из атмосферного воздуха за 1 час (интенсивность газопоглощения) и весь период вегетации (емкость газопоглощения) изученные нами виды (табл. 5, 6).

Так, дуб черешчатый, клен остролистный, береза пушистая, клен явор, береза бородавчатая, клен ясенелист-

Таблица 5

Интенсивность газопоглощения листьев некоторых видов деревьев и кустарников, мг/час

Вид	Количество поглощенного газа		
	на 1 м ² площади листьев	на 1 кг сырых листьев	на 1 кг сухих листьев
Барханя древовидная	—	241,0	568,3
Спирея ягодник белый	18,2	142,0	356,8
Жимолость татарская	15,0	117,0	354,0
Дуб черешчатый	20,5	101,0	222,0
Клен остролистный	8,4	86,0	220,0
Береза пушистая	10,1	79,9	199,8
Клен явор	12,1	76,7	188,0
Береза бородавчатая	10,5	60,4	187,5
Клен ясенелистный	8,3	50,6	172,0
Дерен белый	13,7	80,6	170,0
Робиния лжеакация	—	66,7	167,5
Тополь канадский	9,1	50,4	165,3
Липа крупнолистная	9,3	59,3	157,5
Сирень обыкновенная	9,2	33,0	103,0
Клен серебристый	5,9	41,0	72,5
Липа войлочная	4,0	20,2	52,1
Клен гиннала	12,3	112,9	46,8

ный, карагана древовидная, робиния лжеакация, тополь канадский и липа крупнолистная способны интенсивно поглощать двуокись серы из атмосферного воздуха. Особенно следует отметить дуб черешчатый, клен остролистный, явор, березы пушистую и бородавчатую. Все они являются местными породами. Остальные виды, представленные в табл. 6, принадлежат к интродуцированным в условиях Белоруссии. Наиболее низкой интенсивностью газопоглощения обладают: сирень обыкновенная

(0,30 г/час), клен гиннала (0,47), липа войлочная (0,52), клен серебристый (0,72 г/час). Несмотря на низкую газопоглотительную способность этих видов, они должны найти широкое применение в озеленении территорий промышленных предприятий Белоруссии. Опущенность ниж-

Таблица 6

Интенсивность и емкость газопоглощения для некоторых видов деревьев и кустарников в Белоруссии

Вид	Интенсивность, г/час	Емкость, кг
Дуб черешчатый	2,22	2,7
Клен остролистный	2,20	2,7
Береза пушистая	1,99	2,4
Клен явор	1,88	2,3
Береза бородавчатая	1,87	2,2
Клен ясенелистный	1,72	2,06
Карагана древовидная	1,70	3,4
Робиния лжеакация	1,67	2,00
Тополь канадский	1,65	1,98
Липа крупнолистная	1,57	1,88
Снежноягодник белый	1,05	1,26
Жимолость татарская	1,05	1,26
Клен серебристый	0,72	0,86
Липа войлочная	0,52	0,62
Дерен белый	0,51	0,61
Клен гиннала	0,47	0,56
Сирень обыкновенная	0,30	0,36

ней поверхности листьев у клена серебристого и липы войлочной, раннее завершение вегетации у клена гиннала обеспечивают этим видам высокую выживаемость в условиях загрязнения атмосферного воздуха токсичными соединениями, задерживают проникновение их в мезофилл листа. Декоративные качества указанных видов способны удовлетворить все требования промыш-

ленной эстетики. Виды, характеризующиеся низкой газопоглотительной способностью, но значительной устойчивостью к промышленным газам, следует использовать для создания полос, принимающих на себя удары сильно концентрированных газовых потоков [61].

Полевые исследования, проведенные в августе, сентябре 1967—1969 гг., заключались в изучении особенностей накопления серы листьями различных видов деревьев и кустарников за период вегетации в условиях задымления атмосферного воздуха двуокисью серы (Полоцкий нефтеперерабатывающий завод) и в контроле (Центральный ботанический сад АН БССР). Из данных, представленных в табл. 7, видно, что наибольшее количество серы накапливается в листьях тополя канадского, тополя лавролистного, тополя душистого, ивы белой, ивы козьей, а наименьшее — у березы бородавчатой и пушистой. Такие виды, как липа крупнолистная, клен явор, клены остролистный, серебристый, дерен белый и сирень сбыкновенная, занимают промежуточное положение и накапливают 2,97—1,8 г серы на 1 кг сухих листьев.

Особо следует отметить, что у всех изученных нами представителей сем. *Salicaceae* Lindl. и вне задымления накапливается серы значительно больше, чем у остальных видов. Несмотря на значительное накопление серы листьями, большинство представителей этого семейства очень устойчиво к повреждающему действию токсичных газов, в частности к двуокиси серы. По-видимому, отрицательное влияние на растения оказывают не сами сульфаты, а промежуточные продукты измененного обмена веществ, которые обладают большей скоростью передвижения. Дуб черешчатый, клен серебристый, осина в условиях повышенного содержания двуокиси серы в атмосферном воздухе накапливают серы даже меньше, чем в контроле. Это связано с оттоком ассимилятов. Чем

Таблица 7

**Содержание серы в листьях некоторых видов деревьев
и кустарников в условиях задымления и вне задымления, г/кг
сухого веса**

Вид	ЦБС АН БССР (контроль)	НПЗ, ТЭЦ-3 (опыт)	Поглоще- ние серы
Береза пушистая	0,93	4,91	3,98
Береза бородавчатая	1,54	5,14	3,6
Дерен белый	1,85	4,92	3,07
Дуб черешчатый	2,24	1,03	-1,21
Ива белая ф. желтая плакучая	6,72	11,35	4,63
Ива козья	5,56	8,63	3,07
Клен серебристый	2,08	2,03	-0,05
Клен остролистный	2,25	3,64	1,39
Клен явор	2,41	4,45	2,04
Липа крупнолистная	2,97	4,21	1,27
Осина дрожащая	3,01	1,5	-1,51
Сирень обыкновенная	1,80	4,90	3,1
Тополь душистый	5,39	10,56	5,17
Тополь канадский	5,32	10,88	5,56
Тополь лавролистный	5,83	8,68	2,85

энергичнее протекают процессы жизнедеятельности у растений, в том числе и отток ассимилятов, тем меньше вероятность накопления в них фитотоксических веществ, вызывающих повреждения.

Результаты проведенных нами исследований показывают, что виды растений, способные к накоплению в листовых тканях повышенных количеств сульфатов, должны обладать повышенной устойчивостью листьев к воздействию токсических доз двуокиси серы в атмосферном воздухе. Не всегда высокая газопоглотительная способность вида сочетается с высокой газовыносливостью его

в условиях задымления. Идеальными в этом отношении видами в Белоруссии считают тополь канадский, тополь душистый, тополь бальзамический, тополь берлинский, дерен белый, иву белую. Эти виды, отличающиеся наибольшей газоустойчивостью, являются наиболее ценными при очистке воздуха от газообразных соединений серы.

Вредное воздействие газов и пыли на хвойные леса приняло в ряде стран (ГДР и ФРГ) катастрофический характер и вызвало появление в научной литературе специальных терминов: отмирание сосны «*Kiefernsterben*» и отмирание пихты «*Tannensterben*» [64]. Задымление повреждает хвойные породы и в первую очередь сосну и ель. Общая площадь поврежденных сосново-еловых и елово-пихтовых лесов в странах Центральной Европы составляет более 100 тыс. га [26].

В Чехословакии в районе Рудных гор [30] происходит значительное отмирание хвойных лесов, вызванное постоянным содержанием в воздухе до $1 \text{ мг}/\text{м}^3$ сернистого ангидрида. Многие авторы [21, 63—65] описали влияние дымовых выбросов на отмирание и изреживание насаждений в области Крупных гор. В Болгарии в районе медеплавильного комбината близ города Пирдоп хвойные культуры сильно страдают от двуокиси серы.

В связи с отмиранием сосново-еловых насаждений при воздействии промышленными газами некоторые исследователи [62] рекомендуют уменьшить посадки ели в насаждениях с 51 до 13% и сосны с 32 до 23%, а участие более устойчивых пород (лиственницы, дуба, клена, бук, липы и др.) повысить с 17 до 64%. Wentzel [68], Zeiger [69] считают целесообразным создавать для защиты задымляемых хвойных насаждений полосы шириной 50—100 м из наиболее газоустойчивых пород и лишь в крайнем случае [34] заменять хвойные насаждения лиственными в сильно задымляемых районах.

Огромное внимание, уделяемое во всех странах проблеме сохранения долговечности и поддержания устойчивости хвойных пород, объясняется прежде всего санитарно-гигиенической ролью, которую они выполняют. Так как наибольшая концентрация двуокиси серы в городах приходится на зимние месяцы [69], то вечнозеленые хвойные, способные поглощать этот газ из атмосферы даже при -6° [29], должны принимать большее участие в озеленении. Лучше всего для этого пригодны сизые и серебристые формы ели колючей. Наличие сульфатов в хвое, которое ель колючая переносит без заметного нарушения охвоения, составляет примерно 0,5—0,85% от абсолютно сухого веса. Этому количеству сернистых соединений соответствует загрязненность воздуха от 0,09 до 0,2 мг двуокиси серы на 1 м³. Сходные данные получены Н. Г. Кротовой [81] и Н. В. Подзоровым [19], согласно которым отмирание хвои начинается при достижении содержания серы до 0,3—0,5% (норма задымления 0,05—0,06% от сухого веса хвои). Было установлено [49], что вне задымления в хвое *Picea obovata* и *Pinus sylvestris* за счет поглощения из почвы накапливается 0,05—0,07% серы. В задымленном воздухе количество серы в хвое возрастает и при концентрации 0,3—0,5% она начинает отмирать. Эти два вида хвойных могут удовлетворительно расти в слабо задымленных условиях, причем *Picea obovata* более интенсивно накапливает серу в хвое [49]. Materna [71] полагает, что в случае необходимости можно сажать древесные породы (ель) для ограничения области вредного влияния промышленных дымовых газов. Результаты, полученные в Крупных горах, показывают, что лесные насаждения способны задерживать значительное количество соединений серы из атмосферы. Обнаружено [62] повышенное содержание серы, калия и магния в хлоротичной хвое сосны по сравнению со здорово-

вой (0,22 и 0,17%), а также окислов меди, цинка, свинца, хрома и кремниевой кислоты в хвое сосны, поврежденной газами [71].

В наших исследованиях изучались интенсивность газопоглотительной способности ели обыкновенной, ели колючей и туи западной в лабораторных условиях и особенности накопления и поглощения серы и двуокиси серы хвоей ели, пихты, сосны в задымляемых районах (Полоцкий НПЗ, лесопарковая зона МТЗ и ТЭЦ-3) и в Центральном ботаническом саду АН БССР.

Интенсивность газопоглотительной способности хвои разного возраста определялась дважды за вегетационный период с помощью йодометрического метода [62]. Исследования проводили с применением искусственного задымления в камерах из органического стекла объемом 125 мд³. Концентрация двуокиси серы, в которой обрабатывались изолированные ветви растений, равнялась 3—5 мг/м³. Это ниже концентрации газа, примененной Matterna и Kohout [30] в опытах с искусственным задымлением и равной 8—10 мг/м³, и выше концентрации, примененной в исследованиях Spierings [73]—0,64—1,43 мг/м³. Последний проводил свои опыты в естественных условиях с помощью специальной установки, которая создавала задымление сернистым газом в течение 3 час.

Интенсивность газопоглотительной способности в период вегетации у ели обыкновенной колеблется от 35,5 до 94,1 мг/кг в 1 час двуокиси серы на сырой вес и от 81,8 до 224,0 на абсолютно сухой (табл. 8), у ели колючей—соответственно от 22,4 до 38,9 и от 50,2 до 144,0 мг/кг в 1 час двуокиси серы при концентрации ее в камере 3—5 мг/м³. Таким образом, интенсивность газопоглотительной способности у ели колючей несколько меньше, чем у ели обыкновенной.

Таблица 8

**Поглощение двуокиси серы некоторыми видами хвойных пород,
мг/кг хвои в 1 час**

Вид	Возраст хвои	Время вегетации	Количество поглощенного газа	
			на абсолютно сухой вес	на сырой вес
Ель обыкновенная	однолетняя	июнь	202,0	50,0
		август	224,5	94,1
	двулетняя	июнь	97,0	37,3
		август	176,5	66,1
	трехлетняя	июнь	88,1	35,8
		август	81,8	35,5
Ель колючая	однолетняя	июнь	144,0	38,9
		август	77,4	38,8
	двулетняя	июнь	72,5	30,0
		август	63,1	27,5
	трехлетняя	июнь	65,4	26,3
		август	50,2	22,4
Тuya западная		июнь	94,2	41,5
		август	80,05	31,1

У обоих видов ели наибольшее количество двуокиси серы поглощает однолетняя хвоя, наименьшее — трехлетняя, хотя у ели колючей разница в поглощении газа выражена слабее. Сравнительное изучение накопления радиоуглерода хвоей, проведенное Ю. Н. Журавлевым [74], указывает на зависимость интенсивности фотосинтеза (у сосны обыкновенной) от возраста хвои. Чем моложе хвоя, тем выше у нее интенсивность фотосинтеза. Принимая во внимание, что между газоустойчивостью и интенсивно-

стью фотосинтеза у ели также существует некоторая зависимость [58], можно предположить, что и газопоглотительная способность взаимосвязана с интенсивностью фотосинтеза.

Однолетняя и двулетняя хвоя ели обыкновенной увеличивает свою газопоглотительную способность к концу вегетации, трехлетняя хвоя обладает более стабильным уровнем. Интенсивность фотосинтеза, как показали исследования, в период окончания роста однолетней хвои в августе повышается. Двухлетней — не меняется, а трехлетней — незначительно снижается к концу вегетации.

Таким образом, хвоя ели колючей характеризуется более устойчивым уровнем интенсивности поглощения двуокиси серы. Это объясняется большей ее ксероморфностью (восковой налет, большая толщина эпидермиса). В пересчете на сухой вес у однолетней хвои ели колючей наблюдается заметная разница в интенсивности поглощения двуокиси серы по срокам вегетации (144,0 в июне и 77,4 мг/кг в 1 час в августе), а при пересчете на сырой вес этой разницы нет. По-видимому, это объясняется высокой влажностью однолетней хвои ели колючей в июне (40%). Что касается туи западной, то у нее к концу вегетационного периода отмечается снижение интенсивности газопоглотительной способности. Мы попытались представить эти данные в пересчете на 1 га насаждений хвойных пород. Биомассу хвои для ельников приняли в среднем равной 39,8 т/га сырого веса [75]. При подсчете оказалось, что в июне ель обыкновенная за 1 час поглощает в среднем 1,632 кг двуокиси серы на 1 га насаждений, а ель колючая — 1,273 кг. В августе ель обыкновенная способна поглотить из атмосферного воздуха за 1 час 2,587 кг двуокиси серы, а ель колючая — 1,194 кг. Это совпадает с результатами, полученными Materna [71]. Следовательно, интенсивность газопоглотительной способно-

сти ели колючей несколько меньше, чем ели обыкновенной. Однако это ни в коей мере не может дать ели обыкновенной каких-либо преимуществ в озеленении промышленных районов. Большая ксероморфность хвои ели колючей обеспечивает этому интродуцированному виду большую устойчивость в условиях загрязнения воздуха, хотя несколько снижает интенсивность газопоглощения.

При изучении способности растений поглощать SO_2 необходимо учитывать температуру, при которой проводился эксперимент по газопоглощению. Быстрота поглощения, передвижения и превращение в органические соединения радиоактивных серы и фосфора и соотношение поглощенных P^{32} и S^{35} зависят от температуры [76—78]. При летних высоких температурах сера потребляется растением быстрее, чем фосфор, а при низких осенне-зимне-весенних температурах наоборот. При высоких температурах и недостатке влаги для жизнедеятельности растений особенно важны соединения серы, при пониженных температурах — соединения фосфора, поскольку они улучшают условия перезимовки растений. Так как хорошо перезимовавшие растения более устойчивы к двуокиси серы, то на загрязненных ею территориях растения осенью целесообразно удобрять фосфорными удобрениями, не содержащими серы (нейтральной, кислой или слабощелочной комбинациями в зависимости от рН почвы: одно- и двухзамещенного аммофоса или аналогичными комбинациями одно- и двухзамещенного фосфорнокислого калия, а еще лучше смесью аммонийных и калийных фосфатов). Подкормка углекислотой и освежительные дождевания или их сочетание резко усиливают поглощение, передвижение и превращения серы в растениях в летний период [76—78].

Накопление серы хвоей ели обыкновенной, пихты одноцветной и сосны обыкновенной изучалось в лесо-

парковой зоне Минского тракторного завода (МТЗ) и ТЭЦ-3. Для анализа содержания серы брали хвою разного возраста. Контролем служили посадки ЦБС АН БССР. Было обнаружено повышенное содержание серы в хвое указанных видов в задымляемых районах по сравнению с контролем (табл. 9). Наибольшее количество серы накапливается в хвое пихты, меньшее — в хвое сосны и ели. Старая хвоя содержит серы больше. Наряду с поглощением серы хвоей из воздуха идет процесс накопления ее из почвы. Это можно проследить по разности в содержании серы у исследуемых видов в лесопарковой зоне ТЭЦ-3 и МТЗ (опыт) и ЦБС (контроль).

Насаждения из хвойных пород, находящихся в окрестностях промышленных предприятий, выполняют заметную функцию по обезвреживанию воздуха от двуокиси

Т а б л и ц а 9

Содержание серы в хвое ели обыкновенной, сосны обыкновенной, пихты одноцветной, г/кг сухой хвои

Вид	Возраст хвои	Лесопарковая зона ТЭЦ-3, МТЗ (опыт)	ЦБС (контроль)	Поглощение серы
Ель	однолетняя	0,98	0,92	0,06
	двулетняя	1,62	1,55	0,07
	трехлетняя	2,55	1,83	0,72
Пихта	однолетняя	2,41	1,83	0,58
	двулетняя	3,02	2,29	0,73
	трехлетняя	3,17	2,98	0,19
	четырехлетняя	4,18	3,34	0,84
Сосна	однолетняя	1,67	0,56	1,11
	двулетняя	2,04	0,89	1,15

серы. При этом следует добиваться максимально возможного снижения количества сернистого газа, выбрасываемого в атмосферный воздух, что в свою очередь создает лучшие условия для произрастания хвойных и повышает их долговечность. Ввиду того что в настоящее время полного обезвреживания промышленного дыма достичь не удается, необходимо так регулировать установки, чтобы в воздушный бассейн попадало не более $0,05 \text{ мг}/\text{м}^3$ двуокиси серы. Такая концентрация для хвойных безвредна.

Следует знать, что применение хвойных в озеленении городов и поселков Белоруссии, находящихся вблизи территории промышленных предприятий, требует особенной тщательности в подборе ассортимента. Размещение его зависит от источника эмиссии. По-видимому, ни ель обыкновенная, ни сосна обыкновенная не способны противостоять в наших условиях промышленным газам вблизи предприятий. Здесь лучше использовать такие интродуцированные виды, как туя западная, ель колючая, пихта одноцветная.

О большей газоустойчивости интродуцированных пород сообщает Egger [80]. В условиях задымления, по его подсчетам, сильнее всего страдают хозяйствственно-ценные породы: пихта, ель, сосна, составляющие основную массу австрийских лесов (70%). Меньше повреждаются интродуцированные виды (сосна черная и веймутова). Применение в озеленении различных интродуцированных хвойный пород обеспечит большую устойчивость ассортимента в условиях задымления и позволит им продолжительное время выполнять роль зеленого фильтра.

В заключение необходимо подчеркнуть важность разработки специфических приемов ухода за растениями на загрязненных территориях. При этом следует учитывать химический состав загрязнений. Например, в условиях за-

дымления сернистыми соединениями у растений, произрастающих на почвах, удобренных сульфатами, может создаваться избыток последних, тормозящий рост растений и увеличивающий возможность их повреждения. В этом случае мы рекомендуем применять РК с микроэлементами, но в виде туков, не содержащих серы. Нецелесообразно использование суперфосфата, который содержит очень большое количество серной кислоты. В этих условиях необходимую серу растения получат из воздуха. Проведенные нами опыты подтверждают такую возможность [79]. На территории и в окрестностях азотнотуковых заводов, где в воздух выделяется много окислов азота, желательно применять туки, содержащие серу. Здесь растения в первую очередь должны полнее обеспечиваться фосфором, калием и микроэлементами. Азота потребуется не более 0,1 обычной нормы, а на богатых почвах его вовсе не следует вносить. В этом случае растения вынуждены будут питаться окислами азота из воздуха и тем самым очищать его.

Наши опыты показали, что подкормка растений углекислотой во время экспериментального окуривания двуокисью серы в особенности в сочетании с последующим освежительным дождеванием повышает их газовоносильность, улучшает рост и развитие. Накопленные нами данные помогут в разработке некоторых специфических приемов ухода за растениями на загрязненных сернистым ангидридом территориях.

Сжигание в автомобилях горючего означает безвозвратную потерю ценнейшего сырья для химической промышленности, запасы которого на нашей планете ограничены [10]. Поэтому пора начинать ограничивать строительство сильно загрязняющих воздух тепловых электростанций, отдавая предпочтение гидро- и атомным электростанциям, а также использованию солнечной

энергии. Но и тогда, когда все это вместе с переходом на беструбные замкнутые циклы производства произойдет, гигиеническая роль фотосинтеза зеленых насаждений в промышленных центрах не только не уменьшится, а будет расти, так как будет расти население городов и сама промышленность.

Необходимо также, чтобы листовая поверхность прироста посадок лесов каждый год превосходила или была равна листовой поверхности их ежегодных вырубок. В полевых и прифермских севооборотах больший удельный вес должны занять быстрорастущие и накапливающие большую органическую массу культуры с высокой продуктивностью фотосинтеза в соответствующих климатических зонах: кукуруза, сахарная свекла и новые кормовые культуры — борщевик Сосновского, гречиха Вейриха, маралый корень, катран сердцелистный и др.

Таким образом, главным путем поддержания нормального газового состава атмосферы нашей планеты в настоящем должно явиться сохранение на ней определенного минимума фотосинтезирующей листовой поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бенсон А. А., Джи Т. Г., Ги Р. Молекулярная организация продуктивных липопротеидных структур хлоропластов. Сб. «Теоретические основы фотосинтетической продуктивности». М., 1972.
2. Тарчевский И. А. Основы фотосинтеза. Казань, 1971.
3. Шлык А. А. Метаболизм хлорофилла в зеленом растении. Мн., 1965.
4. Шлык А. А. Биосинтез хлорофилла и формирование фотосинтетических систем. Сб. «Теоретические основы фотосинтетической продуктивности». М., 1972.

5. Загромски Х. О значении хлорофилла «в» для процесса фотосинтеза и накопления сухой биомассы растениями. Сб. «Теоретические основы фотосинтетической продуктивности». М., 1972.
6. Красновский А. А. Уровни светового регулирования фотосинтеза. Сб. «Теоретические основы фотосинтетической продуктивности». М., 1972.
7. Гиббс М. Заключительное слово председателя II секции. Сб. «Теоретические основы фотосинтетической продуктивности». М., 1972.
8. Циглер Х. Заключительное слово председателя III секции. Сб. «Теоретические основы фотосинтетической продуктивности». М., 1972.
9. Будыко М. И. Климат будущего. Природа, 6, 1971.
10. Семенов Н. Об энергетике будущего. Наука и жизнь, 10, 1972.
11. Базилевская Н. А. и др. Краткая история ботаники. М., 1968.
12. Тимирязев К. А. Точно ли человечеству грозит близкая гибель. Избр. соч., т. II. М., 1948.
13. Тимирязев К. А. Наука и земледелец. Избр. соч., т. II. М., 1948.
14. Коновалов Б. На помощь биосфере. «Известия», № 144 от 22 июля 1973 г.
15. Enderlein H. Beispiel einer Ermittlung und Bewertung von Zuwachsverlusten an rauchgeschädigter Kiefern, dargestellt an Hand einer 1959 wiederholt durchgeföhrten Inventur im Emissionsgebeit des Kunstfaserwerkes «Wilhelm Pieck» Schwarza. Archiv Forstwesen 13, 2, 1964.
16. Dimitrovský K. Vliv kourových exhalací na lesní hospodarství v oblastech hnědouhelných revíru. Lesn. prace, 44, 7, 1965.
17. Olschowy G. Industrielle Immisionschäden und Wald-Schäden am Walde und Schutz durch Wald Landwirtsch.-Angew. Wiss., 128, 1966.
18. Tesař V. Počateční působení kysličníku sířičitého na smrkové porosty středního veku. Lesn. časop. UVTI. inform. MZLH, 12, 9, 1966.
19. Подзоров Н. В. Влияние задымления на сосну в Охтинской лесной даче. Сб. «Обмен опыта по лесному хоз-ву и лесоустройству». М., 1966.
20. Кулагин Ю. З. Выживание растительности в зоне промышленных предприятий Южного Урала. III. Internationales Recultivierungen der durch den Bergbau beschädigten Böden Forschung ist. für Mel. Prag., 1967.

21. S w i e b o d a M. VI Miedzynarodowa konferencja na temat wpływu zanieczyszczeń przemysłowych powietrza na lasy. Katowice, 9—14 września 1968. Wszechświat, 1, 1969.
22. V i n c B. Die Auswertung Jähringchronologischer Untersuchungen in rauchgeschädigten Fichtenwäldern des Erzgebirges. Wiss. Z., Techn. Univ. Dresden, 11, 3, 1962.
23. E n d e r l e i n H. Welchen Einfluß haben die industriellen Emissionen auf das Kiefernsterben im Raum des Bezirkes Leipzig? Teil II. Ergebnisse der durchgeföhrten großraumdiagnose. Wiss. Z. Techn. Univ. Dresden, 11, 3, 1962.
24. E n d e r l e i n H. Biespiel einer Ermittlung und Bewertung von Zuwachsverlusten an rauchgeschädigter Kiefern, dargestellt an Hand einer 1959 wiederholt durchgeföhrten Inventur im Emissionsgebeit des Kunstfaserwerkes «Wilhelm Pieck» Schwarza. Archiv Forstwesen, 13, 2, 1964.
25. P o l l a n s c h ü t z J. Metodik der Rauchschädensfeststellung, wie sie gegenwärtig von der Forstlichen Bundesversuchsanstalt angewandt wird. Mitt. Forstl. Bundes—Versuchsanst. Mariabrunn, 73, 1966.
26. U l b r i c h t R. Untersuchungen über die Anwendung der infrarot-Fotografie zur Erkennung von Rauchschäden. Arch. Forstwesen, 15, 5, 6, 1966.
27. W e n t z e l K. F. Erfahrungen bei der Bearbeitung forstlicher Immissionschäden in Deutschland. Mitt. Forstl. Bundes—Versuchsanst. Mariabrunn, 73, 1966.
28. S t e f a n K. Der Wert von Luft- und Nadelanalysen für die Rauchschädensfeststellung. Mitt. Forstl. Bundes—Versuchsanst. Mariabrunn, 73, 1966.
29. L e o n e I. A., B r e n n a n Eileen. Modification of sulfur dioxide injury to tobacco and tomato by varying nitrogen and sulfur nutrition. J. Air Pollut. Contr. Assoc., 22, 7, 1972.
30. M a t e r n a J., K o h o u t R. Stickstoff—Düngung und Schwefel-dioxyd-Aufnahme durch Fichtennadeln. Naturwissenschaften, 12, 5, 1967.
31. M a t e r n a J. Auswertung von Düngungsversuchen in rauchgeschädigten Fichtenbeständen. Wiss. Z. Techn. Univ. Dresden, 11, 3, 1962.
32. H a l b w a c h s G. Der Wasserhaushalt rauchgeschädigter Holzgewässer. Allgem. Forstzeitung, 78, 9, 1967.
33. B e r g e H. Immissionsempfindlichkeit der Land- und Nadelholzarten in Abhängigkeit von Standortfaktoren. Allgem. Forstzeitschrift, 24, 6, 1969.

34. Бабкина В. М. К вопросу о подборе дымоустойчивых травянистых декоративных растений для юга Украины. Сб. «Интродукция и селекция цветочных растений». Ялта, 1970.
35. Илькун Г. М. Газоустойчивость растений. Киев, 1971.
36. Николаевский В. С. О показателях газоустойчивости древесных растений (по исследованиям в г. Красноуральске). Труды ин-та биологии УФАН СССР, 31. Свердловск, 1963.
37. Красинский Н. П. Сб. «Дымоустойчивость растений и дымоустойчивые ассортименты». Москва—Горький, 1950.
38. Томас М. Д. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на растения. Сб. «Загрязнения атмосферного воздуха», М., (ВОЗ), 1962.
39. Vogl M., Börtitz S., Polster H. Physiologische und biochemische Beiträge zur Rauchschadenforschung. Biol. Zbl., 84, 6, 1965.
40. Николаевский В. С. и др. Световой метаболизм углерода-14 у декоративных растений и его роль в газоустойчивости. Сб. «Газоустойчивость растений», 2, 256. Пермь, 1971.
41. Князева Е. М. Газоустойчивость растений в связи с их систематическим положением и морфолого-анатомическими и биологическими особенностями. Сб. «Дымоустойчивость растений и дымоустойчивые ассортименты». Москва—Горький, 1950.
42. Николаевский В. С. Анатомо-морфологическое строение листьев древесных растений в связи с их газоустойчивостью. Зап. Свердловского отделения Всесоюзного ботанического об-ва. Вопросы физиологии растений и геоботаники, вып. 4, 1966.
43. Pelz E. Untersuchungen über die individuelle Rauchhärte von Fichten. Wiss. Z. Techn. Univ. Dresden, 11, 3, 1962.
44. Pelz E., Materna J. Beiträge zum Problem der individuellen Rauchhärte von Fichte. Arch. Forstwesen, 13, 2, 1964.
45. Pelz E. Untersuchungen über die Frunktifikation on rauchgeschädigter Fichtenbestände. Arch. Forstwesen, 10, 1962.
46. Schönbach H., Dössler H. G., Endrelein E. H., Bellmann E., Köstner W. Über den unterschiedlichen Einfluß von Schwefeldioxid auf die Nadeln verschiedener 2 Jähriger Lärchenkreuzungen. 10. Veröffentlichung der Arbeitsgemeinschaft für forstliche Rauchschädenforschung Tharandt. Züchter, 34, 8, 1964.
47. Кулагин Ю. З. К познанию природы газоустойчивости растений. Реферат докладов и сообщений по проблеме: «Растительность и промышленные загрязнения». Свердловск, 1969.
48. Кулагин Ю. З. К методике определения газоустойчивости растений. Сб. «Газоустойчивость растений», 2, 256. Пермь, 1971.

49. Кулагин Ю. З. Газоустойчивость растений и преадаптации. Экология, 2, 1973.
50. Кулагин Ю. З. О газоустойчивости древесных растений и биологической очистке атмосферного воздуха в лесостепном Предуралье. Материалы I Укр. конф. «Растительность и промышленная среда». Киев, 1968.
51. Гетко Н. В. Особенности поглощения и накопления сернистого ангидрида некоторыми лиственными и хвойными породами в условиях загрязнения атмосферного воздуха газами промышленных предприятий. Сб. «Интродукция растений и охрана природы». Минск, 1969.
52. Козюкина Ж. Т. Эколого-физиологическое изучение газоустойчивости растений в условиях степной зоны Украины. Автодреф.-канд. дисс. Днепропетровск, 1971.
53. Vogl M., Schautzapp W., Börtitz S., Leonardt U., Haedicke E. Untersuchungen zur individuellen Rauch- und Frostresistenz von Fichten aus einem Schadgebiet im oberen Erzgebirge. Arch. Pflanzenschutz, 8, 3, 1972.
54. Thomas M. D., Hill G. R. Relation of SO₂ in the atmosphere to photosynthesis and respiration of alfalfa. Plant Physiol., 12, 1937.
55. Kisser J. Physiologische Problem der Einwirkung von Luftverunreinigungen auf die Vegetation. Materialy 6 Miedzynarodowej Konferencji. Katowice, 1968.
56. Фортунатов И. К. Критический обзор американских работ по влиянию промышленных дымов и газов на лес. Доклады ТСХА, 36, 1958.
57. Vogl M. Physiologische und biochemische Beiträge zur Rauchschadenforschung. 2. Mitt. Biol. Zbl., 83, 5, 1964.
58. Македонска Ц., Иорданов И. Замъсяването на въздуха и фотосинтеза на конския кестен и чинара. Горско стопанство, 28, 10, 1972.
59. Garrison B. F., Thomas M. D., Hill G. R. Radioautographs showings the distribution of sulfur in wheat. Pl. Physiol., 19, 2, 1944.
60. Thomas M. D., Hendricks R. H., Hill G. R. Some chemical reactions of sulfur dioxide after absorption by alfalfa and sugar beets. Plant Physiol., 19, 2, 1944.
61. Thomas M. D. M., Hendricks R. H., Brugner L. G., Hill G. R. A study of the sulfur metabolism of weet, barley and corn using radioactive sulfur. Plant Physiol., 19, 2, 1944.
62. Кулагин Ю. З. Газоустойчивые ассортименты деревьев и кустарников для озеленения нефтеперерабатывающих заводов Баш-

- кирии. Сб. «Вопросы повышения продуктивности природных и культурных фитоценозов Башкирии». 19, 2. Уфа, 1964.
63. Вакуров А. Д. Повреждение деревьев и насаждений газами и пылью. Агрохимия, 12, 1964.
64. Kopora V. Kour ohrozuje život našich lesu. Ochrana přírody, 13, 9, Pracha, 1958.
65. Jančárik V. Výskyt dřevokažných hub v kourem poškožované oblasti Krusných hor. Lesnictví, 7, 1961.
66. Žák J. Vliv kourových exhalatu na odumirání stromu a proredování porostu v Krušnohorské oblasti. Sb. Vedec. lesn. ustanu Vyšší školy žemed. v Praze, 8, 1965 (1966).
67. Пропопиев Е. Повреди от серни газове върху горските култури. Горскостопанска наука, 2, 1. София, 1965.
68. Wentzel K. F. Erfahrungen bei der Bearbeitung forstlicher Immissionschäden in Deutschland. Mitt. Forstl. Bundes—Versuchsanst. Mariabrunn, 73, 1966.
69. Zeigler F. Die heitige Bedeutung der Industrie—Rauchschäden für den Wald. Wiss. Z. TU Dresden, 4, 1954—1955.
70. Greenburg L., Jacobs M. B. Sulfur dioxide in New York City atmosphere. Industr. Eng. Chem., 48, 9, 1956.
71. Materna J. Nekteré výsledky výskumu v Krušnohorské kourové oblasti. Sborník dokumentů III. bioklim. konference v Praze, 1963.
72. Nemec A. Vliv a popilku na intoxikaci smrkových porostu. Lesn, 5, 1958.
73. Spierings F. Method for determining the susceptibility of trees to air pollution by artificial fumigation. Atmosph. Environ., 1, 3, 1967.
74. Журавлев Ю. Н. Продукты фотосинтеза у сосновой хвои разного возраста. Труды Ин-та биологии УФАН СССР, 35, 1963.
75. Бойко А. В., Сидорович Е. А., Моисеева А. Б. Надземная продуктивность древесной и травянистой растительности в природных комплексах Березинского заповедника. Сб. «Березинский заповедник». Исследования, 1, 1971.
76. Чуваев П. П., Николаева М. И., Ширшова А. М., Султанова С. Г. Некоторые результаты изучения питания плодово-ягодных и овощных растений в условиях Центрального Таджикистана методом меченых атомов. Тр. ин-та им. И. В. Мичурина, 2. Душанбе, 1960.
77. Чуваев П. П., Амонов Н. Влияние углеродного питания на поглощение фосфора и серы. Тематич. сб. Отд. физиол. и биофиз. растений АН ТаджССР, 4, 1963.

78. Чувачев П. П., Исаев Н. И. (при участии М. И. Николаевой). Особенности поглощения и передвижения в надземные органы радиоиндикаторов фосфора и серы растениями виноградной лозы в осенне-зимне-весенне время. Сб. «Некоторые исследования в области агрохимии, зоотехники и ветеринарии». Душанбе, 1967.
79. Чувачев П. П., Гетко Н. В. и др. Озеленение территории нефтеперерабатывающих заводов Белоруссии. Сб. «Интродукция и селекция растений». Мин., 1972.
80. Egger J. Die gegenwärtige Rauchschädenssituation in Österreich. Mitt. Forstl. Bundes—Versuchsanst. Mariabrunn, 73, 1966.
81. Кротова Н. Г. Динамика усыхания сосны в насаждениях Лесной опытной дачи. Доклады ТСХА, 36, 1958.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Краткий обзор литературы	9
Характеристика исследуемых районов и газоустойчивость растений	10
Изменение интенсивности фотосинтеза у растений под влиянием двуокиси серы	20
Устьичный аппарат листьев и газоустойчивость растений	25
Поглощение и накопление серы растениями	30
Литература	46

*Порфирий Порфириевич Чубаев
Юрий Захарович Кулагин
Нелли Владимировна Гетко*

**ВОПРОСЫ
ИНДУСТРИАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИИ
И ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ**

Редактор Л. Л. Божко

Обложка В. Л. Милевского

Художественный редактор Б. В. Савченко

Технический редактор В. И. Крученок

Корректор Н. Г. Баранова

Печатается по постановлению РИСО АН БССР.
АТ 20805. Сдано в набор 18 IX-73 г. Подписано
в печать 5 XI-73 г. Бум. тип. № 2. Формат
70×108^{1/32}. Печ. л 1,75. Усл. печ. л. 2,4. Уч.-изд
л. 2,2 Изд. зак. 155 Тип. зак. 875 Тираж 140)
экз. Цена 22 коп. Издательство «Наука и тех-
ника». Минск, Ленинский проспект, 68. Ти-
ография имени Франциска (Георгия) Скоричы
издательства «Наука и техника» АН БССР и Гос-
комитета Совета Министров БССР по делам изда-
тельств, полиграфии и книжной торговли. Минск,
Ленинский проспект, 68.

К СВЕДЕНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ

В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «НАУКА И ТЕХНИКА»

в 1974 г.

ВЫХОДИТ ИЗ ПЕЧАТИ КНИГА

КОЛЛЕКТИВА АВТОРОВ

«ИНТРОДУКЦИЯ РАСТЕНИЙ И ЗЕЛЕНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО».

13 л. Ориентировочная цена 1 р. 20 к.

Работа посвящена вопросам интродукции в Центральном ботаническом саду АН БССР цветочно-декоративных, технических и дрессено-кустарниковых растений и перспективам их использования в зеленом строительстве. Большое внимание в ней удалено результатам изучения биологических особенностей интродуцированных растений и их репродукционной способности. В ряде статей обобщены данные биохимических исследований, посвященных защите интродуцированных растений, их газоустойчивости и газопоглотительной способности.

Предназначена для ботаников, специалистов зеленого строительства, любителей цветоводов.

Заказы направлять по адресу: 220688, Минск, площадь Свободы, 19. Магазин «Книга—почтой».

Чуваев П. П. и др.

Ч82 Вопросы индустриальной экологии и физиологии растений.
Мн., «Наука и техника», 1973.

56 с. (АН БССР. Центр. ботан. сад).

Перед загл. авт.: П. П. Чуваев, Ю. З. Кулагин, Н.-В. Гетко.

Рассматривается влияние токсических промышленных выбросов на физиологические процессы в растениях и указываются пути борьбы с загрязнением биосферы отходами промышленности.

Рассчитана на ботаников, фитофизиологов, экологов, специалистов по зеленому строительству;

Список лит.: с. 46—52.

581.5