

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
БАШКИРСКИЙ ФИЛИАЛ  
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ

Ю. З. КУЛАГИН

# ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ СРЕДА



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
Москва 1974

Древесные растения и промышленная среда, Кулагин Ю.З.  
М., "Наука", 1974 г.

В книге освещена экологическая концепция устойчивости древесных растений к антропогенным факторам. Предложена классификация основных форм газоустойчивости древесных растений.

Книга представляет интерес для специалистов в области экологии, фитоценологии, дендрологии, лесоведения и охраны природы, а также для озеленителей и лесоводов.

Табл. 38, библиограф. 169 назв.

Ответственный редактор  
Е.В. КУЧЕРОВ

## *Глава I*

### **ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДЫМ, ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ И ПРОБЛЕМА ОЗЕЛЕНЕНИЯ И ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ В ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ЦЕНТРАХ**

Как известно, развитие производительных сил общества основывается на интенсификации использования природных ресурсов. В настоящее время масштабы воздействия человека на природу благодаря научно-техническому прогрессу приблизились в ряде случаев к масштабам геологических процессов. Но при этом наряду с положительными и желаемыми результатами возникают весьма неблагоприятные и часто непредвиденные последствия: уменьшается численность ценных и полезных видов растений и животных, разрушаются природные ландшафты, развивается эрозия почв, нарушается гидрологический режим местности, ухудшаются санитарно-гигиенические условия. В этой связи отметим высказывание Ф.Энгельса в его "Диалектике природы" (См. Энгельс, 1961: 495-496) о противоречивом характере взаимоотношений и взаимосвязей между человеком и природой, о том, что наши победы над природой имеют, правда, в первую очередь те последствия, на которые мы рассчитываем, но во вторую и третью очередь совсем другие, непредвиденные последствия, которые очень часто уничтожают значение первых. Известно, что причиной нежелательных последствий в живой природе в большинстве случаев является промышленность, часто односторонне и несовершенно использующая различные виды минерального сырья - руды, каменный уголь, нефть и др. В атмосферный воздух выбрасываются в огромном количестве токсичные газообразные и пылевидные соединения, входящие в состав промышленного дыма. В мировой и отечественной научной литературе описаны многочисленные случаи весьма интенсивных и вредных для произрастания растительности воздействий промышленных дымовых отходов (Красинский, 1937; Рязанов, 1954, 1959; Ворошилов, Недотко, 1960; Тарчевский, 1964; Илькун, 1971; и др.).

Проблема загрязнения атмосферы, ухудшения санитарно-гигиенических условий и подбора дымоустойчивых видов для озеленения привлекла серьезное внимание Всемирной организации здравоохранения (Томас, 1962). В долгосрочной международной программе по проблеме "Человек и биосфера", сформулированной ЮНЕСКО (Н.М.Матчанов, 1972; Хроника ЮНЕСКО - март 1972), указывается на необходимость разработки теоретических и методических основ сохранения естественных районов, защиты лесных ландшафтов умеренной зоны от неблагоприятных влияний, возникающих в процессе землепользования, хозяйствования, инженерно-технических работ, использования различных форм сырья и энергии.

В нашей стране первые исследования газоустойчивости растений были начаты Д.Н.Нелюбовым (1900) и В.Сабашниковым (1911 а, б). Однако до Великой Октябрьской социалистической революции исследования

устойчивости растений к токсичным соединениям не получили какого-либо развития вследствие безразличного отношения частных предпринимателей к озеленению промышленных предприятий и благоустройству рабочих поселков. В Советский период, во время индустриализации страны по планам пятилеток был обстоятельно поставлен вопрос об активной борьбе с промышленным дымом и о широком использовании для этого древесной растительности. Так, Л.О.Машинский (1933) обосновал необходимость массового озеленения фабрично-заводских территорий. В.А.Углов (1934) указал на исключительно серьезное значение планомерной борьбы с дымами, пылью и газами в населенных пунктах, подчеркнув при этом необходимость широкого использования посадок деревьев и кустарников.

С 1934 г. были начаты планомерные исследования дымоустойчивости растений Н.П.Красинским в промышленных центрах Московской и Горьковской областей, результаты которых хорошо известны (Красинский, 1937, 1940, 1950 а, б, в). Наиболее интенсивные исследования начались в послевоенные годы, охватившие все основные промышленные районы страны: Украину (Волошин, 1962; Гаевая, 1962 а, б; Илькун и др., 1967, 1968, 1969; Илькун, 1971; Тарабрин и др., 1968, 1969; Добровольский, 1969; Сидоренко, 1970; и др.), Белоруссию и Ленинградскую область (Соколов, 1947; Антипов, 1958, 1963, 1968; Подзоров, 1961; Гетко, 1968; и др.), Подмоскowie (Кротова, 1957, 1958; Рябинин, 1962, 1965; Обыденный, 1971; и др.), Поволжье (Князева, 1950; Илошин, 1953; и др.), Казахстан (Ванифатов, 1956, 1959; Ситникова, 1964, 1966), Кузбасс (Гетта, 1957), Кавказ (Дероян, 1957; Алиев, 1966); и др.

На Урале изучению дымоустойчивости растений был придан широкий комплексный характер в рамках проблемы охраны природы и рационального использования ее ресурсов, разрабатываемой под руководством члена-корреспондента АН СССР Б.П.Колесникова (1960, 1961).

В координации усилий различных учреждений и отдельных работников, исследующих фитотоксичные промышленные соединения и возможность их локализации и нейтрализации с помощью растений, важную роль выполнили Уральские научно-координационные совещания 1962, 1964, 1966 и 1969 гг. Опубликованные материалы этих совещаний позволяют четче видеть специфику поставленных жизнью задач. Изучению подвергся широкий круг вопросов, связанных как с физиологией и биохимией растений, подвергающихся воздействию токсичных соединений, так и с их экологией (Ионин, 1958; Николаевский, 1963-1971; Тарчевский, 1964; Мамаев, 1969; Кулагин, 1961-1971; и др.). Решения Уральских совещаний ориентируют исследователей на разработку общей теории газо- и пылеустойчивости растений, потребность в которой тем сильнее, чем больше публикуется решений частных задач и, следовательно, острее ощущается необходимость их обобщения.

В качестве первоочередной и неотложной задачи ставится формирование в плотнонаселенных промышленных районах с нарушенными природными ландшафтами и условиями, неблагоприятными для нормальной жизни и отдыха трудящихся, ландшафтов культурных, в которых устранены, нейтрализованы или ослаблены вредные стороны воздействия

промышленности на природу и созданы условия для гармоничного и полного удовлетворения растущих потребностей человека (Колесников и др., 1961). Предлагается резко усилить благоустройство населенных пунктов в районах деятельности крупных промышленных предприятий, обратив особое внимание на развитие озеленительных работ, имея в виду, что растительность, и особенно лесная, является хорошим естественным фильтром и поглотителем вредных веществ из атмосферы и почвы.

Следует отметить, что в нашей стране уже давно ставится вопрос о создании зеленых зон (полос) вокруг городов и санитарно-защитных зон (разрывов) между источниками задымления и жилыми кварталами. Не случайно поэтому древесной растительности придается роль одного из наиболее эффективных средств в борьбе за реализацию поставленных задач. Но именно в тех местах, где положительная роль лесной растительности особенно велика, деревья и кустарники испытывают наиболее сильное воздействие весьма неблагоприятных факторов и прежде всего фитотоксичных промышленных дымовых газов и пылей. Отсюда следует, что для успешного выполнения задач по озеленению территории заводов и лесовосстановлению в их окрестностях и прилегающих лесхозах требуется знание причин дымоустойчивости древесных растений.

Необходимо подчеркнуть, что ошибки в оценке фактической дымоустойчивости различных видов деревьев и кустарников крайне отрицательно сказываются на масштабах и темпах озеленительных и лесовосстановительных работ на задымляемых пространствах. Иногда высказывается мнение о том, что достаточно устранить дымовые отходы путем установки высокоэффективных дымоуловителей, как все остальные вопросы, в том числе и трудности в подборе высокодымоустойчивых видов, отпадут. Однако, к сожалению, полная ликвидация промышленных дымовых отходов практически трудно осуществима. По этому вопросу целесообразно ознакомиться с заключением известного советского исследователя проф. Н.П.Красинского, посвятившего многие годы изучению проблемы дымоустойчивости растений. В 1937 г. Н.П.Красинский (1937) писал, что полного обезвреживания дыма, даже применяя сложные уловители, достичь не удастся. Особенно трудно улавливать дымовые газы, например сернистый газ. Кроме того, полное очищение дыма от вредных примесей, если бы оно даже было технически возможным, обходилось бы чрезвычайно дорого. Таким образом, вопрос о дымо- и газоустойчивости зеленых насаждений и о вреде, приносимом дымом культивируемым растениям даже при употреблении различных уловителей, сохраняет свою остроту. Значительно позднее, в 1950 г., Красинский (1950 а) пишет, что борьба с дымом прежде всего должна вестись технологическими приемами, при помощи специальных золо- и дымоуловителей. Однако, по имеющимся данным, применение даже весьма совершенных уловителей не обезвреживает полностью дымовые выделения, и, хотя количество вредных ингредиентов дыма резко падает, все же и в таком виде дымовые отходы при длительном воздействии серьезно повреждают растительность. Сернистый газ, например, вызывает значительные повреждения растений в концентрации 1:1 000 000 и даже ме-

нее. Таким образом, технологический способ борьбы пока не обеспечивает необходимую защиту растений от вредного действия дымовых выделений. Совершенно несомненно, что одновременно с технологическим способом борьбы с дымом должен применяться способ биологический.

В практике оздоровления атмосферного воздуха основное значение имеют разработка и внедрение надежных высокоэффективных газо- и пылеуловителей. Санитарно-защитные лесополосы в связи с относительно невысокой устойчивостью к токсичным соединениям и небеспредельной газопоглотительной и пылезадерживающей способностью призваны дополнять технологический способ борьбы с задымлением, выполняя роль фактора доочистки атмосферы. Можно утверждать, что чем ниже уровень загрязненности атмосферы, тем выше итоговая эффективность древесных насаждений в локализации и нейтрализации токсичных компонентов дымовых выбросов.

Несомненно, что по мере ослабления и прекращения задымления зеленые насаждения будут вплотную подходить к заводам, превращая их территории и окрестности в сады и лесопарки. Но и в этом случае потребуется учитывать, с одной стороны, фитотоксичность низких концентраций газов и, с другой стороны, губительность высококонцентрированных дымовых выбросов при нарушении технологии производства и в аварийных ситуациях. Можно утверждать, что дело благоустройства и озеленения наших промышленных центров значительно выиграло бы, если бы в работе заводов учитывалась судьба зеленых насаждений, если бы не только озеленители и лесоводы, но и инженерно-технические работники располагали точными сведениями об экологическом характере действия фитотоксичных газов и пылей.

Итак, изучение дымоустойчивости древесных растений необходимо для озеленения и лесовосстановления на задымляемых территориях с целью, во-первых, снизить загрязненность атмосферного воздуха газообразными и пылевидными соединениями, во-вторых, ограничить распространение дымовых отходов и тем самым защитить отдаленные населенные пункты, ценные лесные массивы и сельскохозяйственные угодья от их губительного воздействия, в-третьих, приостановить развивающиеся процессы эрозии почв на горных склонах, сохранив тем самым благоприятные условия для последующих работ по их облесению, в-четвертых, прекратить усиленный снос почвенного мелкозема и смыв осаждающихся из атмосферы вредных веществ в русла рек и тем самым улучшить гидрологический режим местности и химический состав вод.

Изучение дымоустойчивости древесных растений необходимо не только для настоящего периода, когда происходит усиленный выброс промышленных дымов, но и для будущего, когда загрязнение атмосферного воздуха и почв будет сильно сокращено или полностью ликвидировано.

Кроме того, своевременное раскрытие экологических особенностей химически измененных почв и лесообразующих видов деревьев и кустарников позволит в будущем при устранении или резком ограничении задымления быстро осуществить широкие мероприятия по ликвидации нанесенных живой природе ран, по полной ликвидации всех связанных с ними неблагоприятных последствий и возвращению ценных лесов на прежние позиции. Леса — это мощный и ничем не заменимый фактор

нормализации биосферы. Их газопоглодительные и пылезадерживающие функции в сочетании с продуцированием свободного кислорода становятся экологически столь же значимыми, как и почвозащитные и водорегулирующие функции. Для их усиления остро необходимы знания экологии лесообразующих видов в связи с антропогенными факторами. Выяснение закономерностей роста и размножения лесных растений в условиях, порожденных производительной деятельностью, позволит приступить к разработке теории дендрэкологического прогнозирования в рамках проблемы "Человек и биосфера".

## УСТОЙЧИВОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ К ПРОМЫШЛЕННЫМ ДЫМОВЫМ ВЫБРОСАМ КАК ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

### Критический обзор литературы

Дымовые выбросы настолько значительно изменяют условия существования растений, что стало целесообразным использовать понятие "промышленная среда". Оно было предложено коллективом исследователей Урала и достаточно широко используется в научной литературе ("Растения и промышленная среда", 1964, 1970 и др.). Следует отметить, что отличие промышленной среды от обычной природной среды заключается не только в присутствии непосредственно влияющих на растения токсичных соединений, но и в неизбежно возникающих под их воздействием изменениях физико-химических и биотических условий всего биогеоэкологического комплекса. Изучение этого сложного круга вопросов приобретает в наши дни все более целеустремленный характер.

Вначале было распространено мнение о возможности быстро и легко выявить высокодымоустойчивые виды путем осмотра зеленых насаждений на задымляемых территориях, а затем рекомендовать их для других задымляемых территорий. Таким путем поступали, в частности, в Германии и Бельгии в конце XIX – начале XX в. Так, например, Шредер и Реусс (Schroeder I., Reuss B., 1883) по степени устойчивости к сернистому газу для условий Западной Европы располагали изученные ими виды в следующем, начиная с наименее устойчивых, порядке: ель обыкновенная (*Picea excelsa* Link.), сосна обыкновенная (*Pinus silvestris* L.), береза белая (*Betula alba* L.), ольха черная (*Alnus glutinosa* (L.) Gaerth.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), каштан конский (*Aesculus hippocastanum* L.), белая акация (*Robinia pseudoacacia* L.), ива козья (*Salix caprea* L.), ива белая (*Salix alba* L.), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.), вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.), осина (*Populus tremula* L.), тополь черный (*Populus nigra* L.), тополь бальзамический (*P. balsamifera* L.), клен полевой (*Acer campestre* L.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.).

Бельгийская комиссия по Н.П. Красинскому, (1937) по озеленению промышленных предприятий, выбрасывающих в атмосферный воздух пары соляной кислоты, располагает изученные виды в следующий, начиная с наименее устойчивых ряд: лещина обыкновенная (*Corylus avellana* L.), дуб черешчатый, береза белая, клен полевой, ива серая (*Salix cinerea* L.), лиственница европейская (*Larix europaea* D.C.), ежевика (*Rubus caesius* L.) ясень обыкновенный, тополь серебристый (*Populus alba* L.), осина, туя восточная (*Biota orientalis* Endl.), роза (*Rosa*, различные виды), сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris* L.), чубушник венечный (*Philadelphus*

coronarius Rockhill), малина обыкновенная (*Rubus idaeus* L.), ольха (*Alnus*, различные виды).

Ольбрих (Olbrich, 1929, по Красинскому, 1937) предлагает следующий список высокогазоустойчивых видов, которые можно использовать в озеленении промышленных предприятий в условиях Западной Европы: клен татарский (*Acer tataricum* L.), береза бородавчатая (*Betula verrucosa* Ehrh.), ясень обыкновенный, тополь серебристый, тополь душистый (*Populus suaveolens* Fisch.), тополь канадский (*Populus canadensis* Moench.), дуб черешчатый, белая акация, ива козья, ива белая, вяз шершавый (*Ulmus scabra* Mill.).

Как мы видим, для отмеченных исследований характерна весьма общая и неопределенная оценка фактора задымления с указанием в лучшем случае лишь названия токсичного соединения. Обращает на себя внимание также игнорирование в ряде случаев видовой специфики растений. Так, например, не делается различий между березой бородавчатой и пушистой, между различными видами розы и ольхи. Сопоставляя результаты исследований Шредера, Реусса и бельгийской комиссии, с одной стороны, и Ольбриха, давшего обобщенные результаты, с другой стороны, приходится отметить ряд несоответствий. Так, дуб черешчатый, березу, ясень обыкновенный Ольбрих рассматривает как высокогазоустойчивые виды, тогда как в других списках они фигурируют среди слабоустойчивых видов.

Критикуя эмпирический подход к построению дымоустойчивых ассортиментов, советский исследователь Н.П.Красинский (1937, 1940, 1950 б,в) провозгласил необходимость широкого использования теоретических представлений для правильной оценки дымоустойчивости различных видов растений. Им были разработаны в физиологическом плане теоретические основы газоустойчивости растений в виде теории фотоокисления. Сернистый ангидрид и другие кислые газы, проникая внутрь листа, нарушают процесс фотосинтеза, связывая, в частности, каталитически активное железо. В условиях выключенного фотосинтеза, но продолжающегося поступления солнечной энергии хлорофилл начинает как флуоресцирующее вещество проявлять фотодинамическое действие, которое сводится к фотоокислениям. Фотоокислению подвергаются разнообразные вещества — белки, фосфатиды, аминокислоты и др. Поэтому под влиянием сернистого ангидрида на свету происходит их разрушение, ведущее к отмиранию клеток и сопровождаемое снижением окисляемости клеточного содержимого. С повышением интенсивности освещения токсичность сернистого ангидрида возрастает, и наоборот. Красинский в качестве прямых доказательств правильности своих взглядов считает факт уменьшения окисляемости и соответствующего повышения газоустойчивости при удобрении почвы азотнокислым натрием, установленный в опытах В.А.Гусевой (1950), а также факт резкого ослабления фитотоксичности сернистого ангидрида в темноте с одновременным увеличением окисляемости по причине отсутствия фотодинамического действия хлорофилла и постепенного накопления в листьях сернистой кислоты. Эта теория была положена Красинским в основу объяснения причин различной газоустойчивости и выявления высокогазоустойчивых видов исходя из

того, что им должна быть присуща низкая величина окисляемости клеточного содержимого. Однако сразу же возник целый ряд трудностей, не преодолеваемых с позиций теории фотоокисления. Поэтому Красинский вынужден был сделать ряд существенных оговорок и поправок как в физиолого-биохимическом, так и в экологическом плане. Так, Красинский (1950 б) писал, что, считая фотодинамическое действие хлорофилла первой причиной повреждения растений на свету кислыми дымовыми газами, мы вместе с тем полагаем, что газовые повреждения зависят также и от других причин. Наряду с вызываемым им фотодинамическим действием сернистый газ, проникая в клетки и растворяясь там с образованием сернистой кислоты, изменяет рН клеточной среды, именно сдвигает его в кислую сторону. Сдвиги могут быть весьма значительными, достигая нескольких десятых значений рН. Подкисление клеточной среды, вызывающее уменьшение стабильности биоколлоидов и даже коагуляцию их, должно сильно отражаться на состоянии клеток, обуславливая их повреждение и отмирание. Далее Красинский указывает на неблагоприятные для растения последствия от понижения активности ряда ферментов, нарушения углеводно-азотного режима. Он далее присоединяется к мнению Томаса, Гендрикса и Хила (Thomas, Hendricks, Hill, 1944) о том, что в результате постепенного накопления в листьях серы происходит сульфатное отравление, наступают хлороз и их отмирание. Но Красинский сознавал недостаточность физиолого-биохимического подхода к познанию газоустойчивости растений и предложил различать три вида газоустойчивости - физиологическую, морфолого-анатомическую и биологическую. Если первый вид газоустойчивости связан с физиолого-биохимическими особенностями растений, то второй обусловлен особенностями строения; поскольку газовые повреждения связаны с проникновением газов внутрь листовых тканей, вся та специфика морфолого-анатомической структуры листовых органов, которая затрудняет газообмен и вообще поступление газов в растение, приводит к уменьшению повреждаемости их дымовыми газами. Биологическая же газоустойчивость, как мы уже отмечали, заключается в способности растений в течение этого же периода вегетации восстанавливать поврежденные газами части и органы. Весьма показательно высказывание Красинского (1950 б) о том, что различные виды газоустойчивости могут существовать одновременно, сочетаясь друг с другом, причем тот или иной вид газоустойчивости может превалировать и определять степень газоустойчивости данного растения.

Все это свидетельствует о том, что Красинский фактически отошел от выдвинутого им вначале (1940) физиологического принципа в познании причин газоустойчивости разных видов и признал необходимость обязательного учета целого ряда других признаков и свойств растений. Но если это так, то при анализе причин различной газоустойчивости неизбежен учет влияний со стороны внешней среды. Прежде чем приступить к ознакомлению с этим последним обстоятельством, целесообразно рассмотреть некоторые конкретные результаты исследований, выполненных Красинским и рядом его сотрудников и последователей.

В табл. 1 приведены оценки газоустойчивости древесных и кустарниковых пород, полученные Красинским чисто эмпирическим путем (методом полевых обследований и экспериментального обжига листьев в газовых камерах) в 1937 г. и при использовании теории фотоокисления в 1950 г.

Сравнение приведенных двух списков (1937 и 1950 гг.) показывает, что использование разработанных Красинским теоретических представлений существенно не изменило ранее, в 1937 г., данную оценку газоустойчивости различных видов растений. К 1950 г. лишь роза морщинистая была переведена из группы рекомендуемых, т.е. высокогазоустойчивых, в группу допускаемых, где объединены виды с пониженной газоустойчивостью. Также были "понижены в ранге" кизильник блестящий и лох серебристый, которые переведены из группы допускаемых в группу нерекондуемых, т.е. видов с крайне низкой газоустойчивостью. Черемуха обыкновенная и вишня пенсильванская, напротив, были оценены как более газоустойчивые. Однако каких-либо доказательств для обоснования переоценки степени газоустойчивости отмеченных видов не приводится.

Интересно ознакомиться с результатами исследований И.Р.Илюшина (1953), который основывался на теоретических представлениях Н.П.Красинского (1940, 1950б) и работал в том же районе страны (Горьковская обл.), но пользовался методом полевых исследований. Илюшин проводил исследования в окрестности завода, загрязняющего атмосферный воздух кислыми газами (сернистый ангидрид, окислы азота, хлористый водород). Им выделены три группы видов по степени повреждаемости листьев: 1 - слабоповреждаемые, где ожоги поразили менее 10% поверхности листьев, 2 - среднеповреждаемые (ожоги до 50%) и 3 - сильноповреждаемые (ожоги более 60%). Эти группы близки к подразделениям степени газоустойчивости, которыми пользовался Н.П.Красинский.

Слабоповреждаемые: тополь канадский, спирея калинолистная, клен остролистный.

Среднеповреждаемые: тополь бальзамический, вяз гладкий, смородина черная, рябина обыкновенная, черемуха обыкновенная, акация желтая, клен татарский, липа мелколистная, сирень обыкновенная, бузина красная.

Сильноповреждаемые: ель обыкновенная.

Необходимо отметить наличие значительных расхождений данной шкалы с шкалой Красинского. Так, в группу слабоповреждаемых видов Илюшин включил спирею калинолистную и клен остролистный, которые у Красинского рассматриваются как виды с умеренной и низкой газоустойчивостью. В группе же среднеповреждаемых видов объединены, с одной стороны, такой высокогазоустойчивый, по Красинскому, вид, как бузина красная, и, с другой стороны, клен татарский, акация желтая, рябина обыкновенная, сирень обыкновенная, липа мелколистная, расцененные Красинским как низкогазоустойчивые виды. И лишь в отношении тополя канадского, вяза гладкого, смородины черной, черемухи обыкновенной и ели обыкновенной взгляды обоих авторов совпадают.

Таблица 1

Оценка газоустойчивости древесных и кустарниковых пород в исследованиях Н.П.Красинского разных лет (Красинский, 1937; Красинский, Е.И.Князева, 1950)

Вид	1937 г.	1950 г.	Вид	1937 г.	1950 г.
Рекомендуемый			Допускаемый		
Клен ясенелистный	+	+	Тополь черный пирамидальный	+	+
Можжевельник казацкий	+	+	Смородина черная	+	+
Можжевельник виргинский	+	+	Акация белая	+	+
Магония падуболистная	+	+	Вяз гладкий	+	+
Тополь канадский	+	+	Роза морщинистая !	-	+
Роза морщинистая	+	-	Черемуха обыкновенная !	-	+
Бузина красная	+	+	Вишня пенсильванская !	-	+
Снежногодник кистистый	+	+			
Туя западная	+	+			
Допускаемый			Нерекомендуемый		
Аморфа кустарниковая	+	+	Клен остролистный	+	+
Дерен белый	+	+	Клен татарский	+	+
Кизильник блестящий !	+	-	Каштан конский	+	+
Лох серебристый !	+	-	Акация желтая	+	+
Жимолость татарская	+	+	Ель обыкновенная	+	+
Жасмин дикий	+	+	Черемуха обыкновенная !	+	-
Спирея калинолистная	+	+	Вишня пенсильванская !	+	-
Тополь бальзамический	+	+	Рябина обыкновенная	+	+
Тополь лавролистный	+	+	Сирень обыкновенная	+	+
			Липа мелколистная	+	+
			Лох серебристый !	-	+
			Кизильник блестящий !	-	+

Примечание. Знаком "+" показана принадлежность того или иного вида к определенной группе газоустойчивости, знаком "-" отсутствие его, знаком "!" переход вида из одной группы в другую.

Интересно также ознакомиться с работой Д.Н.Ванифатова (1959), который исследовал устойчивость древесных растений к сернистому ангидриду в условиях предгорной зоны Заилийского Алатау, целиком исходя из теории фотоокисления Красинского. Результаты оценки степени газоустойчивости растений Ванифатовым оформлены так же, как и Красинским.

Как мы уже указывали, Красинский придавал большое значение в газоустойчивости растений фактору освещения. Исследования Ванифатова для нас интересны тем, что он использовал показатель величины окисляемости клеточного содержимого в качестве главного и универсального критерия оценки степени газоустойчивости, работая в южном

районе страны. Ванифатов, связывая газоустойчивость растений с их географическим местонахождением на основе светового фактора, подчеркивает, что интенсивность солнечной радиации с севера на юг увеличивается, а газоустойчивость соответственно понижается. Эту закономерность Ванифатов рекомендует использовать при переносе предложенной им шкалы газоустойчивости растений к югу или северу от его района исследований. Если мы сопоставим шкалу газоустойчивости растений, данной Красинским и Князевой (1950) для условий средней полосы Европейской части СССР (т.е. в более северных районах) и шкалу Ванифатова, то обращает на себя внимание следующее (табл. 2). Вместо того чтобы повысить газоустойчивость при произрастании в северных районах, чубушник венечный, липа мелколистная и рябина гибридная ее понижают. Белая акация и спирея иволистная, наоборот, ее повышают; основное же количество видов (тополь канадский, можжевельник виргинский, клен ясенелистный, дерен белый, вяз гладкий, ель колючая, ель Энгельмана, сирень обыкновенная, клен остролистный, барбарис обыкновенный, береза бородавчатая, рябина обыкновенная) сохраняет газоустойчивость без изменений. Следовательно, попытка Ванифатова использовать теорию фотоокисления для предвидения изменения степени газоустойчивости деревьев и кустарников в зонально-географическом разрезе не дала положительных результатов.

Несколько иначе подошел к этому вопросу Х.М.Исаченко (1938), исследовавший газоустойчивость древесных и кустарниковых пород в

Таблица 2

Оценка газоустойчивости древесных и кустарниковых пород в исследованиях Н.П.Красинского и Е.И.Князевой (1950) и Д.Н.Ванифатова (1959)

Вид	1950 г.	1959 г.	Вид	1950 г.	1959 г.
Рекомендуемый			Допускаемый		
Тополь канадский	+	+	Липа мелколистная!	-	+
Можжевельник виргинский	+	+	Рябина гибридная	-	+
Клен ясенелистный	+	+	Нерекомендуемый		
Чубушник венечный!	-	+	Липа мелколистная!	+	-
Допускаемый			Сирень обыкновенная	+	+
Чубушник венечный!	+	-	Клен остролистный	+	+
Дерен белый	+	+	Барбарис обыкновенный	+	+
Вяз гладкий	+	+	Береза бородавчатая	+	+
Акация белая!	+	-	Рябина обыкновенная	+	+
Спирея иволистная!	+	-	Рябина гибридная	+	-
Ель колючая	+	+	Акация белая!	-	+
Ель Энгельмана	+	+	Спирея иволистная!	-	+

условиях Донбасса. Им выделены три группы видов по степени повреждаемости листьев сернистым ангидридом. В группу слабоповреждаемых видов входят: белая акация, акация желтая, вяз гладкий, сирень обыкновенная, снежнаягодник кистистый, тополь канадский, тополь бальзамический, тополь черный, чубушник венечный. Группа среднеповреждаемых видов представлена дубом черешчатым, жимолостью татарской, кленом ясенелистным, липой мелколистной. И, наконец, третья группа объединяет сильноповреждаемые виды – барбарис обыкновенный, березу бородавчатую, березу пушистую, клен остролистный. Объясняя несовпадение шкал газоустойчивости древесных растений на заводских площадках Московской обл. и на заводских площадках Донбасса, Исаченко считает, что сильная инсоляция и низкая относительная влажность воздуха в Донбассе приводит к ксерофилизации (утолщению эпидермиса, кутикулы) и снижает газочувствительность листьев. Это относится, в частности, к желтой акации, сирени обыкновенной, вязу гладкому. Следовательно, Исаченко считает целесообразным при подборе газоустойчивого ассортимента исходить из местных особенностей климата, особенно учитывая его засушливость.

На весьма широкой географической основе проведены рекогносцировочные обследования И.П.Кунцевич и Т.Н.Турчинской (1957). Ими были обследованы различные промышленные предприятия в Ленинградской, Московской, Ростовской, Горьковской, Свердловской и Челябинской областях и на основе полученных данных составлена единая шкала сравнительной оценки дымоустойчивости многих деревьев и кустарников. Она имеет следующий вид.

I. Устойчивые растения (видимых повреждений нет). Акация белая, аморфа кустарниковая, бузина красная, лох узколистный, лох серебристый, снежнаягодник кистистый, тополь пирамидальный (свыше 15 лет), тополь черный (свыше 25 лет), тополь лавролиственный (свыше 15 лет).

II. Слабоповреждаемые растения (степень повреждения до 10%). Боярышник обыкновенный, вишня обыкновенная, вяз мелколистный, ива белая, ива ломкая, тополь канадский (от 15 до 25 лет), тополь черный (до 15 лет), тополь берлинский (до 15 лет), шиповник, яблоня (различные сорта).

III. Среднеповреждаемые растения (степень повреждения до 40%). Барбарис обыкновенный, береза бородавчатая (свыше 25 лет), береза пушистая (свыше 25 лет), дуб летний (свыше 15 лет), клен татарский, крушина ломкая, липа мелколистная (свыше 15 лет), лиственница сибирская, рябина обыкновенная, тополь канадский (до 15 лет), осина (свыше 15 лет).

IV. Сильноповреждаемые растения (степень повреждения до 60%). Береза пушистая (до 15 лет), вяз шершавый (ильм), клен ясенелистный, сирень обыкновенная, тополь бальзамический (до 15 лет), тополь душистый (свыше 15 лет), осина (до 15 лет).

V. Очень сильно повреждаемые растения (степень повреждения свыше 60%). Акация желтая, дуб летний (до 15 лет), клен остролистный, липа мелколистная (до 15 лет), тополь душистый (до 15 лет).

Оценивая результаты исследований Кунцевич и Турчинской, следует прежде всего отметить отсутствие какой-либо аргументации при объединении уральских городов с городами европейской части СССР. В частности, засушливость Ростовской обл. и суровые зимы Урала, несомненно, должны отразиться на состоянии столь различных по экологии видов, как белая акация, аморфа, береза пушистая, липа мелколистная. Авторы делают весьма знаменательную оговорку к разрабатываемой ими шкале: подразделение растений на устойчивые, слабоповреждаемые и т.д. не является чем-то постоянным. Оно может изменяться в зависимости от конкретных условий: от характера вредных выделений в атмосферный воздух, размещения растений относительно источника загрязнения воздуха, посадки и ухода за растениями, физиологического состояния самого растения, условий освещенности, времени года, климатических, почвенно-грунтовых условий, происхождения посадочного материала и др. Но в таком случае неизбежно возникает вопрос — для какой же цели выполнено столь обширное исследование? Если при составлении шкалы газоустойчивости не учитывались характер и интенсивность задымления (а это совершенно неизбежно при разнообразии промышленных предприятий и их географического положения), то становится вообще непонятным практическое и теоретическое значение предлагаемой шкалы.

Следовательно, исследования, в которых дымоустойчивость растений анализируется на весьма разнородном фактическом материале, без учета специфики задымления и природных условий, не могут быть полезными ни в практике озеленения задымляемых территорий, ни в познании причин различной устойчивости разных видов.

Аналогичное положение наблюдается и в последних работах, выполненных на Урале. В.М.Ионин и В.Ф.Колташева (1961) связывают рекомендуемый ими ассортимент деревьев и кустарников лишь с особенностями химического состава выбрасываемого в воздух дыма. В случае загрязнения воздуха фтором, сернистым газом, окисью углерода и пылью авторы рекомендуют в качестве устойчивых видов тополь бальзамический, клен ясенелистный, бузину красную, лох узколистный, лох серебристый, кизильник блестящий, сирень обыкновенную. При загрязнении воздуха фенолом, аммиаком, сажей и пылью рекомендуется использовать березу бородавчатую и пушистую, клен ясенелистный, тополь бальзамический, жимолость татарскую, спирею калинолистную, лох узколистный, сирень обыкновенную. При загрязнении воздуха сернистым газом, серным ангидридом, окисью углерода, сажей и пылью в качестве устойчивых видов предлагаются тополь бальзамический, осина, клен остролистный, клен ясенелистный, береза бородавчатая, кизильник блестящий, черемуха обыкновенная, лох узколистный, смородина черная, сирень обыкновенная. Ионин и Колташева рекомендуют также особый список видов для озеленения территорий, загрязняемых окисью углерода, окислами железа, пылью с содержанием кремния, летучем золой. В этот список они включают тополь бальзамический, лиственницу Сукачева, яблоню сибирскую, клен ясенелистный, липу мелколистную, березу бородавчатую, клен Гиннала, вяз гладкий, бузину красную, калину

обыкновенную, кизильник черноплодный, сирень обыкновенную, спирею иволистную, лох узколистный.

Если следовать за авторами данного ассортимента, то при озеленении территории заводов использование рекомендуемых видов гарантирует успех независимо от других особенностей задымления. Весьма характерно, что авторы не проводят различий между слабо фитотоксичными (зола, сажа) и сильно токсичными соединениями (фтор, сернистый ангидрид, аммиак). В этой связи совершенно непонятно исключение из последнего списка таких видов, как береза пушистая, клен остролистный, черемуха обыкновенная, жимолость татарская, спирея калинолистная, смородина черная, хотя именно в этом случае задымление вообще менее всего опасно для растений. Каких-либо доказательств о меньшей устойчивости этих отмеченных видов по сравнению, скажем, с лиственницей, сиренью или липой вообще не приводится.

Итак, мы убеждаемся в необходимости обязательного учета при определении фактической газоустойчивости древесных растений условий внешней среды и экологических особенностей режима задымления, а не только химического наименования дымовых компонентов. Проанализируем теперь подробнее вопрос о роли условий внешней среды в газоустойчивости древесных растений.

В вопросе о роли условий внешней среды в газоустойчивости растений представляет определенный интерес критика Шаблювского и Красинского (1950) взглядов Шредера и Реусса (Schroeder I., Reuss E., 1883). Шредер и Реусс считали, что представляется невозможным установить шкалу, которая имела бы общее значение. Другие страны с другим климатом и с другими почвенными условиями дадут другие результаты, и поэтому шкала газоустойчивости, поскольку приходится иметь дело со специальными условиями, всегда будет иметь только местное, локальное значение. Шаблювский и Красинский (1950), напротив, утверждают, что степень газоустойчивости той или иной породы не что-то случайное, а она присуща данному растительному виду и определяется всей совокупностью его физиолого-биохимических, морфолого-анатомических и биологических особенностей. Газоустойчивость данного растительного вида варьирует в зависимости от почвенно-климатических условий, но в достаточно ограниченных рамках, если, конечно, эти условия таковы, что растения могут развиваться относительно нормально. Отмечается, что взгляды Шредера и Реусса базировались на фактах перехода видов из списка газоустойчивых в список газочувствительных (точнее, негазоустойчивых) в различных районах. Эти факты Шаблювский и Красинский объясняют не сильной изменчивостью газочувствительности растений в связи с изменением внешних условий, а целым рядом других моментов, сильно изменяющих концентрацию газовых потоков (рельеф, постройки, расстояние от завода, направление господствующих ветров), а также недоучетом интенсивности освещения, влажности почвы и воздуха, влияющих на работу устьиц, и др. Поэтому Шаблювский и Красинский предлагают считать более правильным то, что при различных почвенно-климатических условиях, допускающих более или менее нормальный рост и развитие разнообразных растений, отно-

сительная газоустойчивость этих растений определяется в первую очередь их природой. Иначе говоря, смысл утверждений Шаблювского и Красинского сводится к тому, что различные виды растений проявляют по отношению друг к другу вполне определенную степень газоустойчивости, если интенсивность газового воздействия одна и та же, а условия внешней среды достаточно благоприятны и в то же время строго определены. Но все эти требования осуществимы лишь в опытных газовых камерах. В природной же обстановке характерно постоянное варьирование как продолжительности и концентраций газовых потоков, так и условий внешней среды, которые могут усиливать или ослаблять токсичность газов, но не влиять существенно на рост и развитие самих растений. Следовательно, в споре о роли условий внешней среды в газоустойчивости растений строгое противопоставление позиций Шредера – Реусса и Шаблювского – Красинского не обосновано. Обе стороны в известной мере правы, поскольку исходят в своих рассуждениях из объективных фактов, хотя и делают упор на разные стороны обсуждаемого вопроса. По нашему мнению, необходимо иметь в виду, что факторы, особенно почвенно-грунтовые, существенно влияющие на рост растения, не могут заметно влиять на его газоустойчивость; в то же время другие условия внешней среды, особенно ветровой и барический режимы, во многом определяют режим задымления и, следовательно, играют исключительно важную роль в повреждаемости растений токсичными газами. Последующие условия внешней среды, особенно погодные условия, имеют большое значение в выживаемости поврежденных растений, часто лишенных листьев. На характер взглядов Красинского в вопросе о роли условий внешней среды заметное влияние оказало его понимание дымоустойчивости и, в частности, сосредоточение основного внимания на дымочувствительности листьев и декоративности и отождествление понятий дымоустойчивости растений и дымочувствительности его листьев.

В научной литературе наблюдается значительный разноречивый в понимании и обозначении способности растений противостоять токсичным промышленным дымам. Так, например, Н.П.Красинский (1937, 1950б) часто отождествлял понятия "дымоустойчивость" и "газоустойчивость". И.П.Кунцевич и Т.Н.Турчинская (1957) использовали весьма громоздкий термин "дымопылегазоустойчивость". По нашему мнению, целесообразно термином "дымоустойчивость" обозначать общее понятие, которое ориентирует на устойчивость растений к действию различных промышленных дымовых отходов. В пределах этого общего понятия следует выделять частные понятия, как, например, "газоустойчивость", "пылеустойчивость".

Некоторые авторы (Гольденберг, 1946; Шенников, 1950; Красинский 1950б) отождествляют понятия "дымоустойчивость" и "дымочувствительность", "газоустойчивость" и "газочувствительность". Так, например, Н.П.Красинский (1950б) пишет, что различные растительные виды неодинаково дымо- и газочувствительны, иначе говоря, обладают неодинаковой дымо- или газоустойчивостью, понимая под этим термином способность растений противостоять вредному действию дымовых вы-

делений, сохраняя декоративность и более или менее нормальное состояние. Очевидно, следует различать дымоустойчивость растений в целом и дымоустойчивость их листьев, понимая под последней повреждаемость токсичными соединениями. По отношению к листьям целесообразно использовать термин "дымочувствительность", сохранив термин "дымоустойчивость" за растением в целом.

Возникает вопрос о правомерности использования признака декоративности в качестве важнейшего при оценке дымоустойчивости растения, поскольку в определение дымоустойчивости Красинский включает признак декоративности, а он в свою очередь основывается на сохранении листвы в кроне. Следовательно, дымочувствительность листьев в данном случае рассматривается в качестве основы дымоустойчивости растений. Однако Красинский столкнулся с фактом совмещения сильной повреждаемости листьев и высокой дымоустойчивости у ряда видов. К таковым были отнесены, в частности, белая акация, аморфа кустарниковая, клен ясенелистный. У них относительно легко поражаемая сернистым ангидридом листва снова быстро восстанавливается. Поэтому Красинским был выделен особый вид газоустойчивости под названием биологической газоустойчивости. Он писал, что биологическая газоустойчивость заключается в способности растений быстро возобновлять поврежденные дымовыми газами части и органы и таким образом восстанавливать свою декоративность (1950, а). Критерий декоративности подчеркивается и в этом случае. Следует согласиться, что использование признака декоративности в качестве критерия при определении понятия "дымоустойчивость" вполне оправдано и целесообразно при озеленении населенных мест. Однако при лесовосстановлении на горных склонах с неблагоприятными почвенно-грунтовыми условиями, где количество лесобразующих видов весьма невелико, требуется иной подход к определению существа дымоустойчивости растений.

Уместно привести один весьма характерный пример. При исследовании окрестностей одного из медеплавильных заводов Среднего Урала В.В.Шаблиовский и Н.П.Красинский (1950), отметив факт ежегодных газовых ожогов крон сосны и березы, сделали вывод о неизбежном и полном отмирании сосняков и березняков. При этом авторы руководствовались вышеприведенным определением, по которому поражение листьев и отсутствие быстрого повторного облиствения есть основание для перевода того или иного вида в группу недымоустойчивых и, следовательно, непригодных для использования растений. Однако в отношении березы в данном случае допущена ошибка. Несмотря на газовые ожоги листвы, отмечаемые во второй половине лета, отмирания березняков нет, так как, несмотря на отсутствие повторного облиствения, на следующий год вегетация начинается нормально (подробнее этот вопрос будет рассмотрен ниже). Следовательно, в определении дымоустойчивости необходимо учитывать это обстоятельство и не следует сковывать и ограничивать формы и методы выявления газоустойчивых видов. Небезынтересно заметить, что, ошибочно забравовав березу, Шаблиовский и Красинский проблему лесовосстановления в отмеченном районе Урала фактически загнали в тупик. Ведь нельзя же считать за

выход из этого положения их рекомендацию основываться в облесении горных склонов на посадках таких видов, как клен ясенелистный, тополь бальзамический, жимолость татарская, чубушник венечный, роза морщинистая. Имеющиеся данные позволяют утверждать, что ни один из указанных видов не способен выступать в роли лесообразователя. Очевидно, что кроме свойства газоустойчивости необходимо учитывать способность того или иного вида успешно и длительно произрастать на маломощных каменистых горносклоновых почвах и естественно возобновляться семенным путем, т.е. быть лесообразователем в полном смысле этого слова.

Все это не позволяет принять изложенное выше определение дымоустойчивости растений, данное Н.П.Красинским. По нашему мнению, под дымоустойчивостью растений целесообразно понимать их способность произрастать при воздействии промышленных токсических соединений, не снижая существенно рост, долговечность и сохраняя способность к размножению.

Продолжим далее рассмотрение интересующего нас вопроса. До сих пор многие авторы, следуя за Красинским (1937, 1950), результаты изучения газоустойчивости различных видов представляют в форме распределения видов на три группы: рекомендуемые, допускаемые и нерекондуемые. При этом игнорируется одно, на наш взгляд, весьма важное обстоятельство: для каких условий задымления тот или иной вид рекомендуется в качестве высокогазоустойчивого, а для каких нет. Имеется лишь одно достаточно неопределенное высказывание Красинского и Князевой (1950) о том, что изученные ими виды рекомендуются для озеленения рабочих поселков, расположенных в непосредственной близости от химзаводов, заводов цветной металлургии и собственно территорий промплощадок, использующих серосодержащее топливо теплостанций в пределах средней полосы европейской части СССР. Газоустойчивость видов Красинский и Князева определяли на основе степени поврежденности листьев воздействием сернистого ангидрида в течение 19 часов при концентрации 1 : 7500 в газовых камерах, сопоставляя эти данные с состоянием посадок на задымляемых территориях. Однако выбор концентрации и продолжительности газового воздействия ничем не обосновывается и является в значительной мере произвольным. Красинский и Князева отмечают лишь, что в опытах ими подбирались такие интенсивности газового воздействия, чтобы высокоустойчивые виды получали достаточно заметные ожоги, а у низкоустойчивых листья поражались не целиком, а оставалась живой какая-то часть поверхности листа.

В свете полученных нами фактов принцип построения ассортимента дымоустойчивости древесных пород, основанный на определении степени ожогов листьев одной-двумя по существу произвольно выбранными концентрациями сернистого ангидрида, представляется односторонним, сильно упрощающим и тем самым искажающим познание фактической устойчивости видов.

Ознакомление с характером фактического материала работ Красинского и его сотрудников (1937-1950) убеждает в том, что сделанная

оценка степени дымоустойчивости ряда видов деревьев и кустарников правильна лишь для определенных условий, а именно для условий эпизодического сильного задымления. Это видно из факта использования в качестве основного метода определения газоустойчивости метода однократного обжига листьев растений в газовых камерах. Красинский (1950в) указывает, что данный метод использовался в сочетании с методом обследований посадок на задымляемых территориях и иногда с методом опытных посадок. Однако последние два метода играли лишь роль вспомогательных. К тому же их результаты использовались, как правило, аналогично первому методу, т.е. лишь для оценки степени повреждений листовой поверхности. Только лишь в отдельных случаях регистрировалось состояние растений в условиях постоянного задымления, а в других – периодического задымления. При этом, однако, совершенно игнорировалась специфика этих двух режимов задымления. Н.П.Красинский (1950в) предлагает пятибалльную систему оценки газовых повреждений, причем в основу этой системы положено определение площади повреждений (обожженной) листовой поверхности. Она имеет следующий вид: 0 – заметных ожогов листьев нет; 1 – очень слабые ожоги (1–10% обожженной листовой поверхности); 2 – слабые ожоги (10–20% листовой поверхности); 3 – средние ожоги (20–40% листовой поверхности); 4 – сильные ожоги (40–80% листовой поверхности); 5 – очень сильные ожоги (80–100% листовой поверхности). Красинский пишет, что в виду того, что растения одного и того же вида на одном участке повреждаются, как правило, неодинаково, при обследовании применяется дробная оценка повреждения. Далее он отмечает, что на основании полученных данных дробной оценки легко вычислить средний процент поврежденной листовой поверхности у того или иного растительного вида исходя из среднего значения отдельных отметок приведенной выше пятибалльной системы, а именно: 1 – 5%; 2 – 15%; 3 – 30%; 4 – 60%; 5 – 90%. Реализуя этот прием на практике, Красинский получил, что на одном участке растущие кусты акации желтой были повреждены газами химкомбината, причем 40% всех кустов имели слабые ожоги, 50% – средние ожоги, 10% – сильные ожоги. Применив к этим данным метод расчета среднего процента повреждений, Красинский получил 26%. Далее Красинский развивает это положение и, в частности, пишет, что расчеты средних процентов поврежденной листовой поверхности на основании данных дробного учета повреждений позволяют сделать детализированную общую оценку газовых ожогов для отдельных растительных видов. В соответствии с этим мною предложено различать следующие степени газовых повреждений: очень слабая – менее 5% обожженной листовой поверхности, слабая – 10%, слабосредняя – 20%, средняя – 30%, среднесильная – 45%, сильная – 60%, очень сильная – 90%. Но такое обращение с результатами наблюдений не повышает их точности, а лишь затушевывает различия в повреждаемости разных особей. Последнее же есть в значительной мере следствие неравномерного распределения в воздухе газовых потоков различных концентраций, обусловленного турбулентным характером их движения. Поэтому в основе полученного “среднего процента повреждения” лежат случайные явления, подлежащие иной обработке и иному осмысливанию.

Исследуя степень повреждаемости и выживаемости листьев древесных растений, мы пришли к выводу о целесообразности использования других представлений и методов. Детальная пятибалльная шкала повреждений листьев лишена конкретного биологического содержания, она носит явно формальный характер. Дело в том, что как слабые (10–20% поврежденной листовой поверхности), так и средние (20–40%) ожоги приводят к одному и тому же результату: обожженные листья после газовой атаки не опадают сразу же, а продолжают оставаться в кроне. Однако продолжительность их жизни заметно сокращается, и они опадают на 4–6 недель раньше по сравнению со здоровыми листьями. Сокращение вегетационного периода под влиянием газовых повреждений неоднократно отмечалось в научной литературе (Железнова–Каминская, 1953; Антипов, 1958; Николаевский, 1962). Таким образом, газовые ожоги листьев в пределах 10–40% приводят лишь к преждевременному листопаду, но ветви кроны не засыхают, так как почки и ткани побегов за данный, несколько укороченный период вегетации успевают сформироваться достаточно полно. Объяснение этого своеобразного явления кроется в том, что сернистый ангидрид и некоторые другие газы являются местными ядами, убивающими только те участки мезофилла листа, куда они проникли, не затрагивая существенно жизнедеятельность соседних участков мезофилла. Важно подчеркнуть и то, что обычно поражаются края листовой поверхности, а центральные зоны листа, примыкающие к осевой и главным боковым жилкам, остаются здоровыми. Подобный характер повреждения листа, заключающийся в локализации повреждений в краевой зоне листа, и лежит в основе указанной выше особенности данной степени газовых повреждений.

Н.П.Красинский и Е.И.Князева (1950) отмечали весьма интересный случай, когда у черемухи обыкновенной даже при значительных ожогах декоративность существенно не снижается, так как у этой породы при газовых воздействиях на листовых пластинках появляются пятна ожогов, места ожогов затем выкрошиваются, в целом же листья остаются зелеными, хотя и продырявленными.

В.Крокер (1950) указывал, что сернистый газ повреждает листья, но не действует на стебли и почки. Листовая паренхима в участках между жилками повреждается сильнее, чем жилки, а тонкие жилки – сильнее, чем широкие.

М.Д.Томас (1962) подчеркивал, что действие сернистого ангидрида на растение характеризуется резко выраженной локальностью и при этом никаких системных поражений не возникает. Хотя пораженные участки листьев подвергаются необратимым изменениям, остальные их участки быстро и полностью восстанавливают свои нормальные функции, а побеги продолжают образовывать новые здоровые листья после газового воздействия. Томас (1962) сообщает, что если видимые поражения сернистым ангидридом занимают не более 5% поверхности листьев, то сколько-нибудь значительного уменьшения урожая не наблюдается.

По нашему мнению, неправомерно считать более газоустойчивым тот вид, у которого листовая поверхность оказалась обожженной на 50%, по сравнению с другим видом, листья которого обожжены на 70%.

В том и другом случае листья в одинаковой мере лишены возможности продолжать жизнедеятельность и быстро опадают. В то же время важно отметить, что слабые ожоги листа, занимающие 5–10% его поверхности, и более сильные ожоги порядка 30–40% могут быть различны по своей губительности, например у березы бородавчатой. При слабых ожогах лист остается функционировать в кроне до конца вегетации, тогда как при более значительных ожогах он погибает через определенное время. Ущерб от слабой газовой атаки эквивалентен ущербу, наносимому листьям слабыми (по площади) повреждениями от воздействия листогрызущих насекомых. Следовательно, ориентируясь на биологический эффект той или иной степени газовых ожогов, допустимо пятибалльную шкалу Красинского преобразовать в трехбалльную шкалу: 1 – слабая повреждаемость, когда ожоги не превышают 10% поверхности листьев; 2 – средняя, когда ожоги находятся в пределах 10–40%; 3 – сильная, когда ожоги составляют более 40% поверхности листьев.

Несколько слов о балле "0", когда у растения вследствие слабой интенсивности задымления отсутствуют видимые ожоги. Наблюдения показывают, что при частых или постоянных воздействиях низких концентраций газов в тканях растений постепенно накапливаются токсичные соединения, в частности серы. Летальный эффект наступает не менее чем через год. Листопадные породы в этих условиях не гибнут, поскольку ежегодно обновляют листву и тем самым освобождаются от вредных соединений. Хвойные вечнозеленые (сосна, ель и др.) испытывают сильное угнетение и погибают. Это происходит в результате сокращения продолжительности жизни хвои под воздействием накапливающихся в ней вредных веществ. Темпы их накопления определяют, следовательно, степень сокращения жизни хвои. В связи с этим целесообразно различать три основных случая, дающих возможность градуировать газовые повреждения при низком уровне загрязнения атмосферного воздуха: 1 – слабое поражение охвоенных крон, когда продолжительность жизни хвои сокращается против нормы на одну треть. Например, у сосны жизнь хвои сокращается с 3 до 2 лет; у ели – с 7–8 до 4–5; 2 – среднее поражение охвоенных крон, когда продолжительность жизни хвои сокращается против нормы на две трети. Например, у сосны – до 1–1,5 лет, у ели – до 2–2,5; 3 – сильное поражение охвоенных крон, когда продолжительность жизни хвои приближается к продолжительности жизни листопадных пород, т.е. составляет менее одного года.

Интересно отметить, что Красинский и Князева (1950) допускали возможность значительного изменения газоустойчивости ряда видов, хотя точно не указывали условия проявления или способы осуществления этого изменения. Они писали, что в их ассортиментах деление древесно-кустарниковых пород и цветочных культур на рекомендуемые, допускаемые и нерекондуемые является условным. Сколько-нибудь резкой границы между этими группами провести нельзя, и, например, липа, сирень обыкновенная, клены остролистый и татарский, хотя они отнесены в группу нерекондуемых пород, занимают промежуточное положение между действительно допускаемыми и действительно нерекондуемыми. Но эти виды поставлены в группу нерекондуемых

потому, что и в камерах, и на промплощадках они повреждаются сильно и вследствие умеренного и медленного роста декоративность восстанавливается с большой задержкой. Указанные виды Красинский и Князева сближают с белой акацией, аморфой, елью колючей и елью Энгельмана. Но, высказывая подобные взгляды, авторы обходят молчанием неизбежный в этом случае вопрос — в каких же условиях задымления могут одинаково успешно произрастать столь различные по своим биологическим свойствам виды.

На интересном показателе построил шкалу сравнительной газоустойчивости растений к сернистому ангидриду М.Д.Томас (1962). Пользуясь различными концентрациями газа в течение одного часа и фиксируя появление в начальной стадии видимых ожогов, Томас расположил все испытанные виды в последовательный ряд начиная с наиболее газочувствительного вида. В его опытах таковым была взята люцерна, и ее газочувствительность была принята за единицу. При таком подходе оказалось, что яблоня получает оценку газочувствительности своих листьев 1,8; липа — 2,3; вяз и береза — 2,4; тополь — 2,5; клен ясенелистный — 3,3; жимолость — 3,5; сирень — 4; лимон — 6,5–6,9; сосна — 7–15.

По нашему мнению, метод оценки газочувствительности листьев различных видов, по Томасу, более совершенен в сравнении с методом Красинского и Князевой. Преимущество заключается в использовании серии возрастающих газовых концентраций, тогда как у Красинского и Князевой бралась только одна, иногда две концентрации.

Но и для Томаса, и для Красинского и Князевой характерно игнорирование, с одной стороны, экологической значимости времени газовых повреждений, состояния самого повреждаемого растения и характера последующих условий внешней среды, а, с другой стороны, степени губительности для жизни листа той или иной площади ожогов на нем.

Действительно одно и то же, скажем, сильное поражение облиственной кроны в середине вегетации будет губительным для растения, в конце же вегетации оно может оказаться совершенно безвредным для растения. Наблюдения и опыты показывают, что в первом случае при отсутствии повторного облиствения безлистные ветви кроны гибнут от иссушения в жаркие летние дни, во втором же случае поражение листьев экологически равноценно раннему листопаду; безлистные ветви кроны не погибают благодаря морфологической и физиолого-биохимической подготовленности к перезимовке и прохладной и влажной погоде осеннего периода.

В последнее время наблюдается определенный, хотя и незначительный, отход от позиций Красинского (подразделение растений на три группы — рекомендуемые, допускаемые и нерекондуемые) и использование идеи о более правильном распределении различных по дымоустойчивости видов по различным зонам задымления. Так, например, Ферда (Ferda, 1953) в одном из горнозаводских районов Чехословакии выделил три зоны (полосы) по высоте над уровнем моря, интенсивности задымления и степени поврежденности лесов. Так, первая, наиболее сильно задымляемая, зона, расположенная на высоте 200–300 м,

характеризуется массовым повреждением и отмиранием лесов, особенно березовых. Вторая, выше (до 600–700 м) лежащая, зона отличается отмиранием хвойных и удовлетворительным состоянием лиственных лесов. Третья зона, расположенная выше 700 м, характеризуется преобладанием лиственничных, еловых и пихтовых лесов, причем заметное угнетение испытывают лишь последние. Пизут (Pisut, 1962) в исследованиях окрестностей металлургических заводов (выброс сернистого ангидрида и паров ртути) северо-восточной Словакии выделял три зоны задымления: 1 – зону сильного влияния указанных газов, где происходит значительное повреждение высших растений и полностью гибнут все виды лишайников; 2 – зону умеренного влияния газов, где высшие растения повреждаются очень слабо или совсем не повреждаются, отсутствуют эпифитные лишайники и начинают появляться наземные лишайники (*Cladonia*), 3 – зону незначительного влияния газов, где начинают развиваться и эпифитные лишайники (*Xanthoria*, *Parmelia* и др.). М.П.Волошин (1962) при исследованиях в Донбассе распределял различные виды деревьев и кустарников по участкам "с большим выделением дыма и газа" и "средней и слабой задымленности". В.М.Рябинин (1965) для некоторых задымляемых районов Московской обл. предложил шкалу газоустойчивости древесных и кустарниковых пород дифференцированно по трем зонам – сильного, умеренного и слабого поражения. В.В. Тарчевский (1964) предлагает разделять площадь действия газовых выделений на три зоны: 1 – зону высоких газовых концентраций или острых отравлений, 2 – зону средних концентраций, или зону хронического отравления растений, и, наконец, 3 – зону слабых концентраций. Важно подчеркнуть, что Тарчевский (1964) указывает дополнительно на возможность возникновения таких ситуаций, когда создаются весьма опасные разовые максимальные концентрации, которые губительно действуют на организмы в короткие сроки времени.

Из этих сведений видно, что характерной чертой отмеченных исследований является выделение зон задымления по признакам состояния растений, т.е. по итоговому эффекту губительного воздействия задымления. Слабо представлены какие-либо указания или сведения об экологических особенностях того или иного режима задымления, лежащего в основе той или иной зоны (или территории) с определенным состоянием растительности.

Следовательно, игнорирование экологической специфики различных режимов задымления, сведение газоустойчивости всего растения к газочувствительности листьев, весьма условный выбор уровня интенсивности газового воздействия при определении газоустойчивости различных видов, отсутствие дифференцированного подхода в построении газоустойчивых ассортиментов с целью озеленения задымляемых территорий – таковы характерные особенности позиций большинства современных исследователей проблемы дымоустойчивости древесных растений. Поэтому не случайно, что до сих пор в практике озеленения и лесовосстановления в задымляемых условиях не всегда учитываются специфические трудности. В качестве рабочей гипотезы при исследовании проблемы озеленения и лесовосстановления в промышленных рай-

онах Предуралья и Южного Урала с их разнообразными природными условиями нами выдвинута экологическая, или, точнее, преадаптационная, концепция дымоустойчивости древесных растений.

### **Преадаптационная концепция устойчивости растений к антропогенным факторам и классификация основных форм газоустойчивости древесных растений**

Адаптациогенез древесных растений в новых условиях среды, возникающих в процессе производственной деятельности, заслуживает серьезного внимания. Наши дендрэкологические исследования убеждают в целесообразности использования концепции о ведущей роли преадаптаций в устойчивости растений к антропогенным факторам (Кулагин, 1962, 1966б, 1969а,б, 1971), являющейся развитием взглядов Н.П.Красинского (1937, 1950б).

Идея о преадаптированности организмов к тем условиям среды, с которыми они раньше не сталкивались, поддерживается многими исследователями, работающими над проблемами эволюционной экологии. Та или иная структура считается преадаптированной, если она способна взять на себя новую функцию без ущерба для первоначальной функции; организм преадаптирован, если он способен к переходу в новый биотоп (Майр, 1968). Н.В.Тимофеев-Ресовский, Н.Н.Воронцов, А.В.Яблоков (1969) отмечают реальную возможность предвращения эволюции благодаря тому, что та или иная особенность структуры, ранее не имевшая приспособительного значения, в новых условиях приобретает положение адаптации. Шварц (1969) писал, что особо следует подчеркнуть справедливость того положения, что преадаптация ни в коем случае не может быть заранее созданным приспособлением.

И.И.Шмальгаузен (1968) указывает на возможность преадаптирования организмов к новым условиям в связи с тем, что раньше в жизни вида эти условия уже имели место, но были не постоянными, а лишь случайными или локальными. Это высказывание имеет прямое отношение к нашей теме. На нашей планете источником загрязнения атмосферы токсичными и, в частности, сернистыми газами были и есть вулканы. Однако данные по геологии, палеогеографии и палеобиологии (Криштофович, 1950; Марков, 1960; Тимофеев-Ресовский, Воронцов, Яблоков, 1969), характеризующие длительный начиная с палеозоя период, не подтверждают идею о том, что токсичные газы выполняли роль фактора эволюции наземных растений. Принято считать, что к началу возникновения жизни (3 млрд. лет назад - на границе катархея и архея) в атмосфере Земли преобладали водород, аммиак, метан, причем катархейская эра отличалась особо интенсивной вулканической деятельностью. К началу протерозоя (около 2 млрд. лет назад) в результате жизнедеятельности бактерий и синезеленых водорослей атмосфера была освобождена от токсичных газов, а затем благодаря значительному "вкладу" фотосинтезирующих водорослей была заметно обогащена кислородом.

К выходу растений из воды на сушу атмосфера характеризовалась близким к современному газовому составом, причем периодическая активизация вулканических процессов уже не смогла изменить его. К концу силура мхи, папоротники, хвощи и плауны широко распространились по суше, а в девоне появились первые леса из древовидных папоротников, хвощей и плаунов. В дальнейшем эволюция Жизни привела к смене лесов из папоротникообразных лесами голосемянных в связи с похолоданием и иссушением климата (пермь), к появлению первых млекопитающих (триас), возникновению цветковых растений и птиц (юра), интенсивному распространению покрытосемянных растений и теплокровных животных (мел). В третичном периоде сформировались все современные семейства растений и животных и общие предковые формы человека, обезьян и человека.

Потребность всех наземных животных и растений в чистом воздухе, их повышенная газочувствительность (концентрация  $SO_2$  1 : 1 000 000 уже фитотоксична – Красинский, 1950а) отрицает предположение о загазованной атмосфере как факторе видообразования.

Маловероятно и то, что загрязненность воздуха в районах с постоянной вулканической деятельностью смогла обеспечить формирование высокогазоустойчивых экотипов и видов. Однако возможность нахождения отдельных высокогазоустойчивых экотипов и даже видов растений в таких районах исключать не следует. В этом плане интересен факт повышенной газоустойчивости лиственницы японской (*Larix leptolepis*), хвоя которой нормально ассимилирует тогда, когда у хвои лиственницы европейской (*L. decidua*) при воздействии двуокиси серы уже отмечается некроз (Фогль, Бертитц, Полстер, 1970).

Рассмотрим ряд примеров преадаптаций растений. Наиболее четко преадаптации наблюдаются в устойчивости растений к промышленным токсичным дымовым выбросам, действие которых не превышает нескольких десятков лет. Фактор задымления – сугубо антропогенный, обусловленный несовершенством технологии, некомплексным использованием сырья и отсутствием надежных газо- и пылеуловителей. Поэтому растения в защите от разрушительного действия этого фактора неизбежно используют те приспособления, которые сформировались ранее по отношению к различным природным факторам.

Четко выраженный характер преадаптаций по отношению к токсичным промышленным газам имеют ксероморфность и суккулентность. Сравнительное изучение строения листьев влаголюбивой березы пушистой и более засухоустойчивой и ксероморфной березы бородавчатой подтверждает этот вывод (Кулагин, 1963б). Плотное сложение внутренних тканей и пониженная интенсивность газообмена суккулентов, в частности из семейств толстянковых (*Grassulaceae*) и кактусовых (*Cactaceae*), обеспечивают их высокую газоустойчивость (Князева, 1950).

В качестве преадаптации часто выступает листопадность, возникающая как приспособление к резко выраженной периодичности климата. Листопадные виды деревьев и кустарников проявляют высокую устойчивость к воздействию постоянной загазованности воздуха двуокисью серы.

Ежегодная обновляемость листьев не позволяет проявиться летальному эффекту от накапливающихся в клетках мезофилла сульфидов и сульфатов (Кулагин, 1964д, 1967б). Не обладающие таким свойством виды с многолетней хвоей (виды *Pinus*, *Picea*, *Abies*) в этих условиях неизбежно гибнут.

В соответствии с теорией фотоокисления Н.П.Красинского (1940, 1950б) отсутствие или низкое содержание дубильных веществ и высокое значение pH клеточного сока обеспечивают устойчивость к двуокиси серы так же, как и отсутствие хлорофилла в клетках мезофилла у пестролистных форм вяза гладкого, клена ясенелистного (Вашифатов, 1959). Эти биохимические особенности следует рассматривать как преадаптации, обеспечивающие повышенную газоустойчивость.

Вполне определенной адаптацией по отношению к высококонцентрированным потокам двуокиси серы и хлора, вызывающим локальные некрозы, является перистый характер жилкования листовой пластинки. Именно этот тип жилкования наиболее эффективно обеспечивает сохранение жизнеспособности листа в целом при отмирании отдельных участков мезофилла. Места газовых ожогов постепенно выкрошиваются, но продырявленные листья остаются живыми. Подобные факты отмечены нами у черемухи (*Padus racemosa*), липы (*Tilia cordata*), дуба (*Quercus robur*), тополя бальзамического (*Populus balsamifera*), жимолости татарской (*Lonicera tatarica*).

Важной преадаптацией является анабиотическое состояние растений, выработавшееся как приспособление к перенесению неблагоприятного периода года с морозами или продолжительными засухами (Генкель, 1946). Резкое снижение интенсивности газообмена при одновременном усилении покровных тканей обеспечивает зимующим побегам деревьев и кустарников, используемых в озеленении, например, нефтеперерабатывающих заводов Предуралья, весьма высокую газоустойчивость (Кулагин, 1964д). Полукустарниковый тип роста, базирующийся на сильно развитой регенерационной способности благодаря почкам возобновления, возник как приспособление для выживания в районах с суровыми зимами (Серебряков, 1962). У некоторых интродуцируемых в лесостепном Предуралье кустарников (*Amorpha fruticosa*, *Lespedeza bicolor*) возникает подобный тип роста, который оказывается полезным не только для зимостойкости, но и при скашивании и воздействии высококонцентрированных потоков токсичных газов.

Наши исследования устойчивости подроста ели сибирской (*Picea obovata*) и пихты сибирской (*Abies sibirica*) на вырубках горных темнохвойных лесов позволили прийти к следующему выводу: те приспособления, которые обеспечивают зимостойкость, могут рассматриваться как преадаптации по отношению к летним засухам и токсичным газам. Резкое усиление летних иссушающих факторов в результате вырубки притеняющего древостоя приводит к сильным повреждениям хвои пихты. Более мощное развитие эпидермиса и гиподермы хвои ели, связанное с необходимостью защиты от резко неблагоприятных зимних условий, обеспечивает значительно меньшую повреждаемость на вырубках. Напомним, что ареал пихты не выходит за пределы лесной зоны, тогда

как ель проникает в лесотундру и в лесостепь (Крылов, 1961). Учитывая особенности биологии и эдафо-ценотического ареала ели (Сужачев, 1938), следует полагать, что ее повышенная засухоустойчивость предопределяется адаптациями, возникающими в суровых условиях севера и северо-востока Сибири и ее горных районов. Уместно одновременно отметить и более высокую газоустойчивость ели по сравнению с пихтой, обладающей мезоморфной и поэтому слабее защищенной хвоей.

Из вышесказанного можно сделать вывод о существовании, во-первых, параллелизма между различными видами устойчивости и, в частности, между засухоустойчивостью, зимостойкостью и газоустойчивостью, во-вторых, эквивалентных отношений между различными факторами среды. Последнее требует пояснений.

Понятие "эквивалент", как известно, широко используется в ряде наук при сопоставлении различных факторов, могущих быть приравненными друг к другу в каком-то отношении. При этом неизбежно возникает особая - эквивалентная - форма отношений между этими факторами. Экологически эквивалентными факторами мы вправе называть все те, которые равновелики по итоговому эффекту и поэтому могут быть взаимозаменяемыми. Полная взаимозаменяемость наблюдается среди энтопических факторов (Ярошенко, 1961). Но и между прямыми, физиологически действующими факторами в их экстремальных значениях отмечается четкая взаимозаменяемость. Различные промышленные токсичные соединения и повреждающие природные факторы в соответствующих дозировках могут быть одинаково отрицательными для растений. Выработанные последними в природной среде соответствующие защитные приспособления оказываются экологически целесообразными и в промышленной среде. Защита растений оказывается тем успешнее, чем ближе по своему действию антропогенные факторы к неблагоприятным природным факторам, имея в виду время и степень разрушительного действия.

В обобщении накопленного со второй половины XIX в. фактического материала значительный вклад был сделан Н.П.Красинским (1937, 1940, 1950б, в), предложившим различать три вида газоустойчивости: анатомо-морфологическую, физиолого-биохимическую и биологическую. Напомним, что в первом случае Красинский учитывал те особенности строения, которые препятствуют проникновению газов внутрь тела растений, во втором - физиолого-биохимический аспект устойчивости клеток и тканей к интоксикации газами, а в третьем - способность растений быстро восстанавливать поврежденные газами органы. Классификация Красинского успешно выдержала проверку временем и нашла отражение в классификации М.Фогля, С.Бертитца и Г.Полстера (1970), созданной для обеспечения поиска тех признаков, которые могут быть использованы при селекции наследственно высокогазоустойчивых форм растений. В классификации Фогля и его коллег по Институту лесоразведения Академии сельскохозяйственных наук ГДР выделено пять форм газоустойчивости, объединенных в две группы.

I. Устойчивость против поглощения газа: 1 - мнимая устойчивость, зависящая от времени или физиологического состояния растений; 2 -

морфолого-анатомическая имиссионная устойчивость; 3 - рефлекторная имиссионная устойчивость.

II. Устойчивость к повреждению поглощенным газом: 1 - устойчивость ассимилирующих органов; 2 - устойчивость целого растения, осуществляемая через способность к регулированию и к регенерации.

Авторы данной классификации в пунктах I.2, II.1 и II.2 отмечают совпадения с выделенными Красинским тремя видами газоустойчивости. Следует отметить, что пункты I.1 и I.3, содержащие указание на мнимую и рефлекторную газоустойчивость, могут быть включены в физиолого-биохимическую газоустойчивость по Красинскому, поскольку в его последних работах (Красинский, 1950б) в рамках этого вида газоустойчивости анализировались вопросы изменения фитотоксичности газа в связи с колебаниями температурного, водного и светового режимов и варьирования физиологического состояния растений. В приведенных классификациях Г.М.Илькун (1968) отметил недостаток, связанный с тем, что авторами классификаций учитывалась газоустойчивость лишь отдельных растений и их органов; Илькун справедливо указывает на значение габитуса растения и строения ценозов в повреждаемости газами. Нами (Кулагин, 1967в, 1968, 1970) была выделена в качестве самостоятельной анабиотической формы газоустойчивости и рекомендовано заменить страдающий неясностью и расплывчатостью термин "биологическая газоустойчивость" более точным - "регенерационная устойчивость".

Защита растений от токсичных дымовых соединений может осуществляться на самых различных уровнях организаций. На клеточно-тканевом уровне возможно выделить: 1 - анатомическую, 2 - физиологическую и 3 - биохимическую; на организменном (онтогенетическом) - 4 - габитуальную, 5 - феноритмическую, 6 - анабиотическую и 7 - регенерационную; на популяционно-ценотическом уровне - 8 - популяционноую и 9 - ценотическую формы дымоустойчивости.

Вполне естественно в силу субординации уровней включение первых трех форм устойчивости в последующие три формы. Точно так же популяционная форма дымоустойчивости включает в себя все предыдущие семь форм, так как разновозрастные и модифицирующие особи, принадлежащие к разным биотипам, различаются по строению, функциям, сезонной феноритмике и регенерационной способности.

Перечисленные основные формы дымоустойчивости иллюстрируют последовательный ряд препятствий на пути фитотоксичных газовых потоков. Прежде всего на своем пути газовый поток встречает ценоз как целое.

Популяция, входящая в ценоз, защищается от газов не только телами рядом расположенных растений; в ее выживании существенное значение имеет степень неоднородности ее состава; чем сильнее выражен полиморфизм, тем выше итоговая газоустойчивость популяции.

Краткие характеристики упомянутых основных форм дымоустойчивости, приводимые ниже, построены на тезисе о преадаптациях как основе устойчивости растений в порожденной деятельностью человека среде.

1. Анатомическая форма устойчивости базируется в соответствии с взглядами Н.П.Красинского и других на тех особенностях строения покровных и внутренних тканей, которые препятствуют проникновению газов и их распространению по телу растений. Ксероморфизм, проявляющийся в утолщении эпидермиса и его усилении кутикулой, воском, опущением, существенно повышает устойчивость листьев. Плотное сложение внутренних тканей листа, ведущее к сокращению вентилируемости (Князев, 1950; Николаевский, 1966), также повышает газоустойчивость; особенно это четко выражено у суккулентов, например, семейства кактусовых и толстянковых.

Мощное развитие пробковых слоев при весьма слабом развитии системы воздухоносных межклетников (аэренхимы) у ветвей и ствола деревьев и кустарников практически снимает вопрос о их повреждаемости газами.

2. Физиологическую форму устойчивости целесообразно, по нашему мнению (Кулагин, 1969), отделить от биохимической и связать с теми особенностями жизнедеятельности растения (фотосинтез, дыхание, работа устьиц и транспирация), которые определяют интенсивность газообмена внутренних тканей с окружающим воздухом. Опыты Н.П.Красинского (1950), В.С.Николаевского (1967), В.С.Николаевского и др. (1971) обосновали вывод о снижении повреждаемости токсичными газами растений в результате сокращения интенсивности газообмена, связанного, в частности, с фотосинтезом. Закрывание устьичных щелей при засухе также повышает газоустойчивость растений. Рефлекторную газоустойчивость, по Фоглю, Бертитцу и Полстеру (1970), можно рассматривать как частное проявление физиологической газоустойчивости.

3. Биохимическая форма дымоустойчивости определяется теми особенностями метаболизма, которые затрудняют или исключают повреждаемость ферментных систем, белкового, углеводного и других обменов. Буферность цитоплазмы по отношению к подкисляющему и, следовательно, разрушающему действию сернистых газов, бесхлорофилльность тканей и многие другие биохимические особенности (Красинский, 1937, 1940, 1950; Николаевский, 1966, 1967; Николаевский и др., 1971; Илькун, 1968, 1971; и др.) показывают целесообразность и перспективность специального изучения этой сложной формы дымоустойчивости растений. Следует напомнить об успешных опытах В.А.Гусевой (1950) по повышению газоустойчивости растений воздействием минеральных удобрений на окислительно-восстановительный режим. Весьма существенны выводы Г.М.Илькуна (1971) о том, что общей причиной фитотоксичности кислых газов является резкое смещение катионно-анионного равновесия. Поэтому растения с повышенным содержанием свободных катионов кальция, калия и натрия более устойчивы. Сопоставление солеустойчивых видов и кальциефилов с пониженно газоустойчивыми видами, сформировавшимися на кислых почвах, обмен веществ с ограниченным участием одно- и двухвалентных катионов, хорошо согласуется с вышеизложенными взглядами Г.М.Илькуна.

4. Габитуальная форма дымоустойчивости обязана тем морфологическим особенностям (высота надземных частей, ветвление кроны), кото

рые уменьшают контакт листьев, цветков с токсическими газами. Стланиковые и особенно подушковидные жизненные формы растений, так же как пирамидальные плотные кроны, снижают повреждаемость листьев. Последнее четко устанавливается в сравнении с ажурными легкопродуваемыми кронами высокорослых кустарников и деревьев (Илькун, 1968). В окрестностях одного из уральских медеплавильных заводов нами отмечен факт сильной повреждаемости крон подлесочных кустарников (раkitник русский, дрок красильный) и подроста сосны обыкновенной и березы бородавчатой по сравнению с высокоприкрепленными кронами последних двух видов деревьев в связи с распространением газовых потоков в приземных слоях воздуха. Точно так же габитуальная газоустойчивость проявляется у высоких деревьев при скоплении сернистого газа в лесах низин и горных долин.

5. Феноритмическая форма дымоустойчивости, выделение которой мы считаем целесообразным, близка к так называемой мнимой устойчивости Фогля, Бертитца и Полстера. Феноритмическую дымоустойчивость, по нашему мнению, следует выделять по признаку несовпадения во времени критических периодов вегетации растений и дымовых воздействий. Вопрос о пагубной роли критических периодов в повреждаемости и отмирании растений при газовых и пылевых воздействиях получил определенную разработку (Кулагин, 1964а, в, 1965в, 1966б, 1968, 1969б). В процессе вегетации наблюдается определенное чередование фаз, в пределах которых растение может обладать весьма малым запасом устойчивости, не гарантирующим защиту от токсичных соединений, и, наоборот, значительно повышенной дымоустойчивостью. Смещение газовых атак с раннелетнего периода, когда слабая морфологическая защищенность и интенсивная физиологическая активность молодых растущих побегов и цветков, предопределяет их сильную повреждаемость газами, на позднелетний период обеспечивает более или менее нормальную вегетацию растений. Напомним, что газовое повреждение в позднелетний период, когда рост и формирование побегов и цветение завершены, а напряженность иссушающих факторов резко снижена, приводит растения лишь к преждевременному, но не опасному для жизни листопаду. Подобные факты нами отмечены (Кулагин, 1964а) на примере липы мелколистной, березы бородавчатой, желтой акации при воздействии высококонцентрированных потоков двуокиси серы. В таком плане феноритмическая форма газоустойчивости оказывается тесно связанной с эфемерофиллией (Генкель, 1946). Экологически благоприятным оказывается смещение воздействий газов, возникающих при крекинге нефти, с раннелетнего на среднелетний период, когда побеги закончили рост в длину и завершили формирование листьев. Подобные явления нами в весьма четком виде отмечены у вяза перистоветвистого, березы бородавчатой и пушистой, ясеня зеленого и клена ясенелистного (Кулагин, 1964 г.).

Знание феноритмической формы дымоустойчивости, так же как и анабиотической, позволяет вырабатывать рекомендации заводам по выбору ими сроков ремонта дымоочистных установок, когда задымление резко усиливается.

6. Анабиотическая форма дымоустойчивости представляет собой крайний вариант физиологической дымоустойчивости, усиленной биохимическими и анатомическими изменениями, присущими состоянию покоя растений зимой или в летнее время в связи с засухой. Эта форма устойчивости близка к феноритмической, но необходимость их разделения мы связываем с существенными различиями в состоянии вегетирующего и покоящегося растения. Резкое сокращение газообмена и значительные анатомические и биохимические изменения у зимующих деревьев и кустарников существенно повышают их дымоустойчивость (Кулагин, 1964а, 1967в, 1968). Сильное обезвоживание и четкий анабиоз у пойкилоксерофитов (Генкель, 1946; Библь, 1965) во время летних засух также сопровождается повышенной дымоустойчивостью.

7. Регенерационная форма дымоустойчивости получила достаточно обстоятельную характеристику (Красинский, 1937, 1950б; Князева, 1950; Кулагин, 1966а). Необходимо дальнейшее изучение этой формы с обязательным учетом возраста растений и варьирования почвенно-климатических условий.

8. Популяционная форма дымоустойчивости базируется на неоднородности биотипического и возрастного состава популяции и на модификациях особей. Чем резче полиморфизм, т.е. чем больше биотипов и возрастных групп и чем сильнее выражены модификации в связи с неоднородностью ценотической среды, тем выше итоговая устойчивость популяции. Эта форма дымоустойчивости была затронута исследованием С.А.Мамаева и В.С.Николаевского (1965) на примере сосны.

9. Ценотическая форма дымоустойчивости связана с теми особенностями вертикальной расчлененности и горизонтальной неоднородности ценоза, густотой и сомкнутостью ярусов и подъярусов, которые препятствуют распространению дымовых потоков. Важное значение в этом случае приобретает строение опушки лесного ценоза (Илюшин, 1953). Зависимость растительных видов от определенных ценотических условий, разный размер "вклада" отдельных видов в структуру ценоза делают возможным связать дымоустойчивость растений с пространственными особенностями растительных сообществ, являющихся их местобитанием. Наиболее четко это обстоятельство можно видеть на примере эдификаторофилов.

Предлагаемая нами классификация, охватывающая основные формы дымоустойчивости, выделяемые с позиции учения о преадаптациях, позволяет прогнозировать и воздействовать на степень устойчивости растительных видов к промышленным токсичным соединениям. Дымоустойчивость растений может быть определена как соответствие между средстами, используемыми в качестве защитных, и фактором задымления.

"Приравнивание" последнего к известным неблагоприятным природным факторам позволяет определить степень адаптивной ценности используемого приспособления в условиях задымления. Воздействуя на условия роста и развития растений и варьируя возрастным и биотипическим составом популяции и структуры ценоза, можно усиливать как отдельные формы дымоустойчивости, так и их совокупность в целом и тем самым повышать итоговую устойчивость.

Суммируя вышеизложенное, необходимо отметить следующее. Растения, попадая в резко измененную человеком среду и не располагая специальными защитными приспособлениями к разрушительным факторам этой среды, неизбежно встают на преадаптивный путь. Преадаптации, связанные с использованием ранее выработанных приспособлений для решения новых экологических задач, определяются невозможностью быстрой перестройки организмов в новых условиях. Преадаптированность обязана полифункциональному характеру существующих приспособлений. Наиболее четко это обстоятельство можно продемонстрировать на примере покровных тканей — эпидермиса и пробки. Усиление этих тканей обеспечивает более надежную защиту растений не только от неблагоприятных природных (иссушение, выщелачивание атмосферными осадками, перегрев, механические повреждения, споры болезнетворных грибов и бактерий), но и специфических антропогенных факторов (токсичные промышленные газы). В качестве преадаптаций могут быть любые особенности клеточно-тканевой и онтогенетической и популяционной организации. Преадаптации реализуются как неспецифические формы приспособлений, позволяющие растениям внедряться в новые местообитания. Размножение в новых условиях, формирование популяций и неизбежное при этом совершенствование преадаптаций представляют собой содержание нового этапа в эволюции вида; преадаптации превращаются в адаптации, выполнив роль предпосылок для последних. Изучение популяций растений в районах сосредоточения промышленных предприятий, несомненно, даст интересный материал по характеристике процесса формирования дымоустойчивых экотипов и тем самым позволит установить темпы процесса формо- и видообразования.

### *Глава III*

## **ГАЗОУСТОЙЧИВОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В СВЯЗИ С УСЛОВИЯМИ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ**

Поскольку сопротивляемость растения и степень разрушительности фактора задымления сильно зависят от условий окружающей внешней среды, то учет последних при определении фактической газо- и пылеустойчивости представляется необходимым. Так как растения неразрывно связаны с природной средой, то изучение их дымоустойчивости должно сопровождаться изучением их приспособляемости к природным неблагоприятным факторам, тем более что их действие часто играет существенную роль в произрастании растений на задымляемых территориях. В связи с этим рассмотрим ряд публикаций.

Венцель (Wentzel, 1956) отмечал, что причиной массового отмирания сосновых и еловых насаждений северорейнской Вестфалии оказалось токсичное влияние промышленных дымовых отходов в сочетании с неблагоприятными зимними условиями (смена продолжительных глубоких, до  $10^{\circ}$ , оттепелей сильными морозами). При этом подчеркивается, что вымерзание хвои оказалось возможным благодаря предварительному ослабляющему воздействию задымления.

В Чехословакии сильные морозы в 1956 г. также заметно усугубили вредное действие сернистого ангидрида, обусловив отмирание 1,5 тыс. га хвойных лесов (Tesař, 1962). Там же установлено, что загрязнение воздуха промышленной пылью приводит к увеличению количества туманных дней, в результате чего в зимнее время образуется ожеледь, сильно повреждающая лесные насаждения (Pešek, 1962).

Напомним, что В.П. Тимофеев (1957) при объяснении причин усыхания хвойных лесов Подмосковья наряду с признанием существенной отрицательной роли за промышленными токсичными дымами не смог опустить одновременно происходящее неблагоприятное воздействие уплотнения почв, засух, суровых зим, нападения дендрофильных энтомо-вредителей (короеды, златки, усачи).

Следовательно, совершенно очевидна необходимость комплексного подхода в изучении дымоустойчивости древесных растений.

### **О повреждаемости листьев двуокисью серы в зависимости от внешних условий**

Поскольку воздействию токсичных газов в природе растения подвергаются в постоянно изменяющихся условиях внешней среды, то совершенно необходимо знать основные закономерности в изменении газочувствительности листьев различных видов деревьев и кустарников под влиянием внешних условий. Некоторые исследователи данному вопросу придают настолько большое значение, что рекомендуют учитывать его при создании высокогазоустойчивых насаждений. Так, напри-

мер, Д.Н. Ванифатов (1959) считает, что газоустойчивость растений с увеличением интенсивности освещения понижается. Следовательно, в затененных местах при озеленении промышленных районов могут применяться менее газоустойчивые, но высокодекоративные растения. Однако это утверждение не опирается на конкретный фактический материал, а обосновывается лишь ссылкой на теорию фотоокисления Н.П. Краинского (1940, 1950б).

Изучение газоустойчивости облиственных побегов нами проводилось в стеклянных камерах. Двоульфид серы в строго отмеренном количестве вводилась в камеру из специально сконструированного газового шприца. Двоульфид серы получалась из сульфида натрия и серной кислоты. Опыты проводились на открытом месте и под пологом полностью сомкнутого кленово-липово-дубового леса. Для световых и теневых листьев соответствующее освещение создавалось искусственно, путем использования шитов и удаления затеняющих стволов и ветвей.

Максимальная повреждаемость листьев наблюдается в полуденные часы в связи с сильной инсоляцией, повышенной температурой воздуха, открытостью устьиц, минимальная — в темные холодные ночи. У листьев тополя бальзамического в полуденные часы понижение температуры воздуха с 25 до 10°С уменьшает площадь ожогов в два раза. Более существенно сокращает ожоги переход к ночи даже при незначительном (до 22°) понижении температуры воздуха. Похолодание воздуха ночью (до 12–15°) приводит к полному или почти полному исчезновению ожогов.

Роль устьиц в повреждаемости листьев хорошо видна при сравнении липы мелколистной, у которой к полудню устьица полностью открываются и площадь ожогов возрастает в 10 раз, с черемухой обыкновенной у которой к полудню устьица остаются, как и утром, в приоткрытом состоянии и площадь ожогов увеличивается всего в 1,5–3 раза. У тополя бальзамического полностью открытые в полдень устьица сопряжены с ожогом половины листовой пластинки, а приоткрытые в вечерние часы устьица — с ожогом лишь одной четверти листовой пластинки; при этом температура воздуха составляла 20–23°, а освещенность вечером всего 10% от полуденного света.

Затенение (15–20% от освещенности на открытом месте) сомкнутым (0,8–0,9) пологом дубово-липового древостоя заметно снижает повреждаемость листьев, сформировавшихся как по световому, так и по теневому типу. По сравнению с открытым местом при затенении в кроне дуба черешчатого ожоги сократились у световых листьев с 10 до 0%, у теневых — с 20 до 0%; у липы мелколистной — у световых листьев — с 30 до 1%, у теневых — с 40 до 5%; у смородины черной — у световых листьев — с 20 до 5%, у теневых — с 50 до 10%; у скумпии (*Cotinus coggygria*) — у световых листьев — с 25 до 0%, у теневых — с 50 до 20%. Во всех этих опытах концентрация двоульфиды серы составляла 5 мг на 1 л, а длительность газации — 1 час. Полученные нами данные хорошо согласуются с наблюдениями зарубежных исследователей, отмечающих, что с повышением температуры воздуха и интенсивности освещения фитотоксичность двоульфиды серы возрастает (Parr,

1962) и что ночью повреждаемость листьев различных видов снижалась по сравнению с дневными часами в четыре раза при одной и той же интенсивности газового воздействия (Zahn, 1963).

Таким образом, затенение, заметно ослабляющее фитотоксичность двуокиси серы, в то же время может повышать газочувствительность листьев вследствие формирования их по типу теневых структур (слабое развитие кутикулы и наружных стенок клеток эпидермиса, слабая армированность листа сосудисто-волокнистыми пучками, увеличение размеров устьиц). Поэтому, вероятно, причиной резкого снижения газоустойчивости сильно и резко изреженных древостоев (Илюшин, 1953) можно считать не только облегчение проникновения дымовых потоков в глубь леса, но и повышение интенсивности освещения и преобладание в кронах повышено газочувствительных листьев теневого типа.

Степени открытости устьиц при газовых повреждениях придается большое значение (Красинский, 1950б; Князева, 1950; Николаевский, 1963, 1964), в то же время указывается и на проникновение газов через кутикулу внутрь мезофилла (Palmiter, Roberts, Southwick, 1946; Roberts, Southwick, Palmiter, 1948; Дорохов, 1963).

При краткосрочных воздействиях двуокись серы внутрь листа через верхний эпидермис не проникает, тогда как при длительной фумигации проникновение газа через верхний эпидермис осуществляется настолько сильно, что вызывает у березы бородавчатой отмирание до 30% поверхности листа. У скумпии установлено слабое поражение (10%) листьев с замазанным вазелином нижним эпидермисом при одночасовой экспозиции, но с увеличенной в пять раз концентрацией сернистого ангидрида.

Пальмитер, Робертс и Соутвик установили, что кутикула листьев представляет собой тонкие прерывистые пластинки, параллельные эпидермальной стенке и перемежающиеся с пектиновыми веществами. В кутикуле имеются очень мелкие отверстия, проходящие через антиклинальные стенки эпидермальных клеток к стенкам сосудов. На этом основании авторы считают вполне возможным газообмен через кутикулу. Б.Л. Дорохов (1963), используя радиоактивный углекислый газ, установил, что при закрытии нижнего эпидермиса листьев яблони, олеандра и мелколистного фикуса вазелином углекислый газ начинает проникать внутрь листа через верхний эпидермис. Поэтому не только при закрытых устьицах, но и при полностью изолированном нижнем эпидермисе газы могут проникать внутрь листа через верхний эпидермис, несмотря на его усиленную защиту кутикулой.

Токсичность двуокиси серы может сильно варьировать в связи с сопутствующими условиями внешней среды. В условиях затенения и в ночные часы повреждаемость листьев различных видов резко снижается, что связано прежде всего с интенсивностью освещения и температурой воздуха. Похолодание днем может заметно ослаблять токсичность газа. Затенение же способно полностью снимать губительное действие газа. Но связанное с ним формирование листьев по теневому типу ослабляет этот эффект. Проникновение сернистого ангидрида внутрь листа в обычных условиях происходит в основном через нижний эпидермис и прежде всего через устьица. В опытах с покрытием нижнего

эпидермиса вазелином проникновение газа может осуществляться через верхний эпидермис, но заметно слабее и при условии резко повышенной его концентрации или при длительной фумигации.

Поскольку фитотоксичность газов определяется не только концентрацией и длительностью их действия, но и в равной, а иногда и в большей степени сопутствующими условиями внешней среды и состоянием самого растения, то уровень ее разрушительного действия нельзя предвидеть на основе прямых определений концентрированности и продолжительности дымовых потоков. К тому же неоднородность дымовых потоков по высоте и по горизонтали вследствие турбулентности и сильная изменчивость погодных условий во время и после газовой атаки придадут этим определениям подчас весьма случайный и относительный характер. Поэтому наиболее целесообразным и более точным способом определения степени токсичности газов приходится признать определение степени поврежденности самого растения, рассматривая его в данном случае как автоматически действующий регистратор того или иного газового воздействия. Все это, однако, не означает полного игнорирования данных о количественном содержании токсичных соединений в воздухе. Такие данные нужны, но от них нельзя требовать невозможного, т.е. предвидения с их помощью той или иной степени их губительности для растений. Более правильно ориентировать внимание исследователя на познание прежде всего закономерностей газочувствительности и газоустойчивости разных видов растений при различных сочетаниях и природных факторов, и особенностей состояния растения, и фактора задымления. Данные о концентрации газов в атмосферном воздухе более правильно использовать в качестве ориентира при определении условий возникновения максимально опасных газовых атак или при определении безвредного (допустимого) уровня загазованности атмосферного воздуха при наблюдающихся в той или иной местности изменениях погодных условий.

### **О газоустойчивости древесных растений в связи с их водным режимом и засухоустойчивостью**

Вопрос об отношении водного режима и засухоустойчивости древесных растений к их газоустойчивости имеет определенное значение как в подборе высокогазоустойчивых видов на основе учета особенностей их водного режима и степени засухоустойчивости, так и в повышении газоустойчивости путем изменения водного режима. В научной литературе этот вопрос разработан весьма слабо. Имеются лишь краткие высказывания о том, что ксерофильные виды слабее поражаются токсичными газами (Князева, 1950), что подвядшие листья более устойчивы к двуокиси серы (Крокер, 1950) и что некоторые засухоустойчивые виды деревьев и кустарников одновременно являются и газоустойчивыми (Илюшин, 1953). Однако некоторые авторы утверждают, что для устойчивых к двуокиси серы древесных растений характерна повышенная оводненность листьев (Николаевский, 1963)

Для выяснения данного вопроса нами было проведено сравнение газочувствительности листьев ряда видов, различающихся по степени засухоустойчивости и характеру водного режима листьев. Методика определения содержания общей, свободной и связанной воды, а также водоудерживающей способности листьев описана в работе Н.А. Гусева (1960). В результате проведенных опытов по лиственнице Сукачева, желтой акации, березе бородавчатой и березе пушистой отмечается следующее распределение этих видов по степени газочувствительности: лиственница (наиболее легко повреждаемая), затем желтая акация, береза пушистая, береза бородавчатая (табл. 3). Следовательно, в данном ряду видов какой-либо определенной зависимости газочувствительности от степени засухоустойчивости и особенностей водного режима не наблюдается. Известно, что сильная повреждаемость двуокисью серы лиственницы и желтой акации обуславливается слабым развитием наружных покровов их листьев (Князева, 1950). При сопоставлении же двух близких видов березы отчетливо видно, что большей засухоустойчивости соответствует меньшая повреждаемость токсичным газом. Очевидно, это обстоятельство не определяется различиями в их водном режиме, так как эти различия относительно невелики, а резкие различия в водном режиме лиственницы и акации (Кулагин, 1965а, 1966в) не сопровождаются столь же резкими различиями в степени повреждаемости. Меньшую повреждаемость листьев березы бородавчатой по сравнению с березой пушистой можно поставить в прямую связь с их значительной ксероморфностью (Кулагин, 1963 б). Повышенная повреждаемость мезоморфных листьев березы пушистой отмечается не только кислыми газами (сернистый ангидрид и сероводород), фитотоксичность которых поддается трактовке с позиций теории фотоокисления Красинского, но и не кислым газом — аммиаком.

Таблица 3

Газочувствительность листьев лиственницы Сукачева, желтой акации, березы бородавчатой и березы пушистой в связи с особенностями их водного режима. Июнь 1960 г.

Показатель	Лиственница Сукачева	Желтая акация	Береза бородавчатая	Береза пушистая
Повреждаемость листовой поверхности сернистым газом, %	100	80	50	70
Общее содержание воды, %	67,4	62,2	67,0	67,6
Свободная вода, %	9,1	24,2	17,5	12,9
Связанная вода, %	58,3	38,0	49,9	54,7
Водоудерживающая способность листьев, % (через 24 часа)	53,5	3,6	17,0	24,5

Таким образом, необходимо признать, что значительную роль в газоочувствительности листьев играют их структурные особенности при отсутствии значительных различий в уровне окисляемости клеточного содержимого. По нашим определениям, величина этого показателя у сравниваемых видов варьирует от 92 до 108 мл 0,1N  $KMnO_4$  на 1 г сухого вещества. С усилением ксероморфности листьев снижается их газоочувствительность. Большие различия в состоянии водного режима хвои лиственницы и листьев желтой акации при слабой их морфологической защищенности не приводят к заметным смещениям их газоочувствительности.

Но если тот или иной характер водного режима листьев не является главной предпосылкой в той или иной степени их повреждаемости токсичными газами, то естественно поставить вопрос о характере влияния токсичных газов на водный режим листьев разных видов. Для получения ответа на этот вопрос нами были проведены исследования в лесостепном Предуралье на территории нефтеперерабатывающего завода (НПЗ); в контроль взяты посадки дендрария, находящегося вне задымления. Возраст деревьев 20–30 лет, кустарников 8–14 лет. Почва – темно-серый лесной суглинок.

На территории НПЗ, где задымление характеризуется присутствием сложной смеси нефтяных газов от крекинга нефти и двуокиси серы, по степени снижения газоустойчивости исследуемые виды можно расположить в следующий ряд: тополь бальзамический – липа мелколистная – желтая акация – береза пушистая – ясень зеленый – клен ясенелистный. Приведенные в табл. 4 данные показывают, что под влиянием задымления в листьях всех указанных видов происходит снижение общего содержания воды, снижение содержания связанной воды, падение водоудерживающей способности. Но в то же время отмечается, что у наиболее газоустойчивого тополя эти неблагоприятные изменения в водном режиме выражены в незначительной степени. Большее снижение содержания связанной воды и водоудерживающей способности в листьях остальных видов может быть поставлено в прямую связь с их пониженной газоустойчивостью и объяснено затрудненным синтезом гидрофильных биокolloидов при воздействии токсичных газов. Ослабленные газами листья неизбежно приобретают пониженную устойчивость к действию иссушающих факторов. В этом отношении определенный интерес представляют данные, показывающие способность листьев ряда видов восстанавливать исходную влажность после подсушивания (в лабораторном помещении) в течение четырех часов. Из них видно, что после четырехчасового подсушивания выявились различия в связи с задымлением и газоустойчивостью. Листья тополя в обоих вариантах ликвидировали водный дефицит. У остальных же видов такую способность проявили лишь здоровые листья, т.е. вне задымления. Напрашивается вывод о том, что токсичные газы отрицательно действуют на древесные породы не только путем прямых ожогов листьев и их уничтожения, но и путем заметного понижения их засухоустойчивости. Наблюдения на территории НПЗ, однако, показывают, что массовое засыхание и

Таблица 4

Особенности водного режима листьев различных видов деревьев в условиях задымления (НПЗ) и вне задымления (контроль). Июль 1963 г.

В и д	Местообитание	Влажность листьев, % от сырого веса		Ликвидируется (+) или сохраняется (-) водный дефицит после водонасыщения подсушенного листа	Содержание связанной воды, % от общего запаса воды	Водоудерживающая способность, % (через 8 часов подсушивания)
		исходная	через 4 часа подсушивания			
Тополь бальзамический	Контроль	70,3	66,4	+	66,2(100)	47,8
	НПЗ	62,0	40,6	+	65,7(99,2)	32,2
Липа мелколистная	Контроль	68,2	64,8	+	54,5(100)	80,6
	НПЗ	56,0	30,9	-	40,8(74,8)	15,6
Береза пушистая	Контроль	61,5	60,0	+	55,8(100)	69,2
	НПЗ	62,5	47,0	-	49,0(87,6)	48,0
Ясень зеленый	Контроль	69,2	64,9	+	53,6(100)	77,3
	НПЗ	55,4	22,6	-	17,6(32,8)	24,0
Клен ясенелистный	Контроль	74,1	71,7	+	53,2(100)	75,7
	НПЗ	53,2	46,3	-	28,5(53,5)	63,0

опадение листвы и последующее отмирание всего дерева происходит лишь в год посадки, в период приживания саженцев (у березы, ясеня зеленого, клена ясенелистного, вяза перистоветвистого, частично у липы). Укоренившиеся саженцы, хотя и обладают ослабленными листьями, губительному воздействию со стороны наблюдающихся атмосферных засух не подвергаются. Очевидно, это можно объяснить благоприятным водным режимом почв на исследуемой территории, обеспечивающим бесперебойное и достаточное водоснабжение облиственных крон. В этих условиях ослабленные газами листья оказываются все же достаточно засухоустойчивыми. Нарушение водоснабжения вследствие повреждения корневых систем у саженцев при посадках ставит их крону в столь трудные условия, что она гибнет от обезвоживания. Интересно отметить весьма успешное приживание саженцев тополя (3-5 лет), посадки которого на территории НПЗ к настоящему времени приобрели доминирующее положение. Изложенные материалы позволяют понять настойчиво повторяемые рядом авторов (Гусева, 1950; Кунцевич, Турчинская, 1957; и др.) рекомендации о том, что созданием благоприятных почвенных условий можно заметно повысить устойчивость древесных насаждений на задымляемых территориях.

Проанализируем фактический материал, характеризующий состояние зимнего водного режима однолетних побегов различных видов деревьев, произрастающих в тех же условиях задымления (территория нефтеперерабатывающего завода-НПЗ) и вне задымления (контроль).

На территории нефтеперерабатывающего завода ряд видов испытывает сильное угнетение от нефтяных газов и периодических воздействий потоков двуокиси серы. Систематические обследования посадок деревьев и кустарников показали наличие губительных зимних повреждений у клена ясенелистного. Слабо одревесневшие части затянувших рост его побегов вымерзают в начале зимы (ноябрь-декабрь) при понижении температуры воздуха до  $-14-20^{\circ}$ . Вывод о вымерзании подтверждается тем обстоятельством, что критическое обезвоживание не может наступить не только вследствие короткого (3-5 недель) в начале зимы морозного периода, но и высокой влажности воздуха и слабо промерзшей почвы при обильном снегопаде. Омертвление побегов клена сопровождается характерным потемнением тканей коры и древесины. Определение содержания воды в остающихся живыми средних и нижних частях побегов клена ясенелистного в течение зимне-весеннего периода показывает наличие у них значительной устойчивости к обезвоживанию. Побег, сохраняющий связь с материнским деревом (табл. 5), на протяжении всего холодного периода сохраняют влажность на высоком и устойчивом уровне. При этом обращают на себя внимание две особенности. Первая особенность заключается в том, что побег, сформировавшийся в условиях задымления, имеет повышенную влажность по сравнению с побегами, сформировавшимися вне задымления. Она может быть объяснена тем, что в условиях задымления ткани побега образуются из слабее развитых тонкостенных клеток, в связи с чем удельный вес сухого вещества оказывается пониженным, а пересчет на него содержащейся в побеге воды дает несколько большую итоговую величину.

Таблица 5

Динамика влажности однолетних побегов в кронах в условиях задымления (НПЗ) и вне задымления (контроль) в зимне-весенний период 1962/63 г.

Вид	Часть побега	Влажность побегов в кроне, %							
		21.XI 62 г.		21. I 63 г.		21. III 63 г.		21. IV 63 г.	
		НПЗ	Контроль	НПЗ	Контроль	НПЗ	Контроль	НПЗ	Контроль
Тополь	Почки	85,5	80,5	75,5	72,0	79,1	67,6	189,6	73,5
	Стебель	150,0	137,0	135,5	104,0	132,4	110,4	227,4	102,2
Липа	Почки	126,1	118,0	104,5	107,0	105,4	124,8	203,9	178,2
	Стебель	132,4	102,2	123,6	100,6	110,5	101,0	236,1	108,2
Береза	Почки	66,4	61,8	55,0	57,0	69,5	44,0	236,1	78,1
	Стебель	95,0	88,5	84,3	69,9	74,3	72,1	60,4	91,7
Ясень	Почки + Стебель	79,3	56,3	63,1	53,5	51,0	43,2	167,8	50,4
Клен	Верхняя	-	142,5	-	129,8	-	125,1	-	130,0
	Средняя	169,5	128,1	152,7	140,1	154,0	137,9	274,7	107,7
	Нижняя	144,6	124,9	162,7	129,7	170,0	131,5	254,6	99,1

Таблица 6

Динамика влажности отделенных от крон однолетних побегов, произрастающих в условиях, задымления (НПЗ) и вне задымления (контроль), в зимне-весенний период 1962/63 г.

Вид	Часть побега	Влажность побегов, %							
		21. XI 62 г.		21. I 63 г.		21. III 63 г.		21. IV 63 г.	
		НПЗ	Контроль	НПЗ	Контроль	НПЗ	Контроль	НПЗ	Контроль
Тополь	Почки	85,5	80,5	74,0	62,6	72,3	61,5	64,3	56,9
	Стебель	150,0	137,0	130,1	98,3	122,6	100,7	91,4	88,5
Липа	Почки	126,1	118,0	96,1	103,5	90,4	90,3	54,5	59,4
	Стебель	132,4	102,2	101,1	77,9	94,4	75,6	75,1	47,1
Береза	Почки	66,4	61,8	35,6	38,8	28,0	26,8	20,3	20,5
	Стебель	95,0	88,5	88,8	67,9	46,2	45,2	39,2	36,5
Ясень	Почки + Стебель	79,3	56,3	56,0	47,1	47,0	39,8	39,9	33,1
Клен	Верхняя	-	142,5	-	110,6	-	83,7	-	63,9
	Средняя	169,5	128,1	129,4	106,4	70,1	104,0	62,7	77,6
	Нижняя	144,6	124,9	119,9	120,5	83,1	110,4	70,7	68,8

ну влажности. Аналогичная картина отмечается и у других исследованных видов, в частности, у тополя бальзамического, липы мелколистной, березы пушистой, ясеня зеленого. Вторая особенность заключается в том, что в апреле побеги в кронах задымляемых деревьев по сравнению с контрольными резко повышают свою влажность. Это обусловлено тем, что на задымляемой территории сильно загрязненный частицами сажи снег стаивает весной на 10–14 дней раньше, чем чистый снег в дендрарии (контроль). Под влиянием талых вод почва оттаивает также раньше, в результате чего и происходит более ранняя активизация тканей и набухание почек. Более раннему пробуждению побегов способствует загрязненность их поверхности сажой, что ведет к более быстрому их прогреванию солнечными лучами.

Изолированные от крон побеги клена ясенелистного не гибнут от обезвоживания в течение всего зимне-весеннего периода, что свидетельствует о их достаточно высокой водоудерживающей способности (табл. 6). Но по сравнению с контрольными побегами она оказывается все же несколько пониженной. Ни у одного из изученных видов влажность как почек, так и стеблей побегов, сформировавшихся в условиях задымления, и при изоляции из кроны не имеет значительных отличий от контрольных деревьев.

Таким образом, задымление не оказывает резко ослабляющего влияния на зимнюю засухоустойчивость побегов различных видов древесных пород. Зимние повреждения на территории НПЗ сводятся лишь к подмерзанию слабо одревесневших верхних частей однолетних побегов клена ясенелистного. Возможны случаи значительного ущерба от действия морозов весной в результате преждевременного набухания почек по причине раннего стаивания темного от сажи снега, оттаивания почвы и нагревания солнечными лучами покрытых сажой побегов и ветвей у различных древесных пород.

### **О способности древесных растений к повторному облиственному и критических периодах**

Объясняя факты высокой газоустойчивости ряда видов деревьев и кустарников, обладающих газочувствительными легко повреждаемыми листьями, Н.П. Красинский (1937) предложил выделить особый вид газоустойчивости – биологическую газоустойчивость. Она заключается, как мы уже отмечали, в быстром восстановлении пораженных органов – облиственных побегов. В дальнейшем Е.И. Князева (1950) подвергла специальному изучению этот вид газоустойчивости и пришла, в частности, к выводу, что, говоря о биологической газоустойчивости, нужно иметь в виду, что у одной и той же древесной породы величина ее непостоянна. Биологическая газоустойчивость, хорошо выраженная в первой половине лета, затем падает и в конце лета сводится почти на нет. Это объясняется приостановкой роста наших деревьев и кустарников во второй половине лета. У экзотов, поскольку они растут до осени, биологическая газоустойчивость не теряется до конца вегетации. Так как

биологическая газоустойчивость связана со способностью растений быстро развивать взамен поврежденных газами листьев и побегов новые листья и побеги, она в значительной мере определяется скоростью роста. Скорость роста в известном смысле может считаться показателем биологической газоустойчивости. Однако для подтверждения этих взглядов Князева использовала крайне скудный фактический материал. В работах других исследователей этот вопрос не получил развития и характеризовался лишь отрывочными данными. Так, например, В.В. Шабалинский и Н.П. Красинский (1950) отмечали факт неоднократного восстановления листьев после газовых поражений у тополя и рябины. М.В. Булгаков (1958) сообщает, что тополь бальзамический восстанавливает листья в течение 3-4 недель, если газовое поражение кроны было в первой половине вегетационного периода. Жимолость татарская восстанавливает листву только при газовых поражениях в первой половине вегетации. Липа и береза не восстанавливают листву в течение всей вегетации. Таковы основные сведения о биологической газоустойчивости растений.

Учитывая большое значение данного вопроса, нами было проведено изучение способности к повторному облиствению у различных видов деревьев и кустарников. Опыты проводились на здоровых, нормально развитых экземплярах деревьев в возрасте 20-30 лет и кустарников в возрасте 8-14 лет, произрастающих на свежей темно-серой лесной суглинистой почве (г. Уфа). Дефолиация осуществлялась путем срезания всех листьев со скелетных ветвей кроны деревьев и с отдельных стволиков кустарников в трехкратной повторности. Следует подчеркнуть, что при данном, механическом, способе дефолиации мы в значительной мере имитируем сильные поражения облиственных побегов сернистым ангидридом, поскольку он уничтожает лишь листья, не нанося заметных повреждений почкам и стеблям (Крокер, 1950). Именно поэтому безлистные побеги вновь покрываются листвой. В этой связи совершенно закономерен факт весьма большого сходства данных этого раздела с данными главы IV, где представлены результаты наблюдений за восстановлением листвы после газовых поражений на территории НПЗ.

Прежде всего важно выяснить вопрос о количестве повторных облиствений при разных сроках дефолиации. В табл. 7 приведены данные, характеризующие ряд важнейших видов деревьев и кустарников, можно выделить несколько групп видов: 1 - виды со слабой и непродолжительной (раннелетней) способностью к повторному облиствению. К ним относятся сирень обыкновенная, жимолость татарская, липа мелколистная и ясень зеленый; 2 - виды со слабой, но более продолжительной (до середины июля) способностью к повторному облиствению. Это - тополь бальзамический и лиственница Сукачева (*Larix sukaczewii* Djil.); 3 - виды с более сильной, но сходной (с предыдущей группой) по продолжительности способностью к повторному облиствению. К этой группе относятся лещина обыкновенная, желтая акация, дуб черешчатый, вяз гладкий, клен ясенелистный, клен остролистный, рябина обыкновенная, черемуха обыкновенная; 4 - виды с еще более сильно выраженной, но также относительно непродолжительной

Таблица 7

Количество повторных облиствений у разных видов деревьев и кустарников при различных сроках постоянной дефолиации. 1963 г.

В и д	Срок первоначального удаления листьев								
	19. V	28. V	10. VI	19. VI	28. VI	9. VII	20. VII	20. VIII	10. IX
Сирень обыкновенная	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Жимолость татарская	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Ясень зеленый	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Липа мелколистная	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Тополь бальзамический	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Лиственница Сукачева	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Желтая акация	2	1	1	1	0	0	0	0	0
Рябина обыкновенная	2	1	1	1	0	0	0	0	0
Дуб черешчатый	2	1	1	1	1	0	0	0	0
Клен ясенелистный	2	1	1	1	1	0	0	0	0
Вяз гладкий	2	1	1	1	1	1	0	0	0
Черемуха обыкновенная	2	2	1	1	1	0	0	0	0
Лещина обыкновенная	2	2	2	1	1	1	0	0	0
Клен остролистный	2	2	2	2	1	0	0	0	0
Береза бородавчатая	3	2	2	1	0	0	0	0	0
Белая акация	3	3	3	3	2	1	1	1	0
Аморфа кустарниковая	4	4	4	4	3	2	1	1	0
Смородина черная	4	2	2	2	1	1	1	1	0
Малина обыкновенная	4	3	2	2	2	2	1	1	0
Ольха серая	5	3	2	2	1	1	0	0	0

(до середины июля) способностью к повторному облиствению. К ним относятся береза бородавчатая и ольха серая; 5 - виды с ярко выраженной и весьма продолжительной (до конца августа) способностью к восстановлению листвы. Это - аморфа кустарниковая, белая акация, смородина черная, малина обыкновенная.

Сопоставление данных, представленных в табл. 7 и 8, дает возможность установить характер зависимости повторного облиствения от продолжительности роста побегов в длину. Выясняется, что тесной связи между проявлением свойства облиствения с периодом роста побегов, как это утверждала Князева, нет. Такие виды, как сирень, лиственница, береза, белая акация, аморфа и ольха, действительно образуют новые листья только в период роста побегов. Однако опыты с удалением растущих побегов привели к полной потере способности облиствения только у сирени. Все остальные виды образовали новые листья за счет раскрытия заложившихся пазушных почек. Следовательно, у них повторное облиствение может идти и не за счет новообразования листьев при удлинении побегов.

У жимолости, ясени, клена ясенелистного и лещины повторное облиствение происходит не только в период роста побегов, но и после его завершения в течение относительно непродолжительного времени - около двух недель. Липа, тополь, желтая акация, рябина и смородина эту способность сохраняют в течение более продолжительного времени - до одного месяца. Наиболее длительное время, более одного месяца после прекращения роста побегов в длину, сохраняется способность повторного облиствения у дуба, вяза гладкого, черемухи и клена остролистного. Важно отметить, что у последней группы видов наблюдается относительно короткий (16-20 дней) период роста побегов. Вероятно, потеря способности к повторному облиствению определяется процессом перехода почек в состояние глубокого покоя в связи с их подготовкой к зиме. Подтверждением этого предложения могут служить результаты исследований Л.И. Сергеева, К.А. Сергеевой и В.К. Мельникова (1961), проведенные в условиях г. Уфы. Полученные данные показывают также, что ярко выраженной и длительной способностью к повторному облиствению могут обладать не только интродуцированные (белая акация, аморфа), как это подчеркивает Князева, но и местные виды (смородина, малина, ольха). Мнение о том, что скорость роста ствола дерева или кустарника может считаться показателем биологической газоустойчивости, не может быть признано правильным. Князева в качестве быстрорастущих видов отмечает белую акацию, клен ясенелистный, тополь бальзамический; медленно растущих - сирень обыкновенную, дуб черешчатый, липу мелколистную, рябину обыкновенную. Однако полученные нами данные о способности этих видов к повторному облиствению не согласуются целиком со скоростью их роста. Поэтому неслучайной в этом отношении оказалась одна существенная оговорка у Князевой (1950; стр. 143): "Следует иметь в виду, что скорость роста и обуславливающая биологическую газоустойчивость скорость отрастания листьев и побегов взамен поврежденных газами - понятие не вполне тождественные". Более правильным следует считать

Таблица 8

Продолжительность роста побегов в длину  
у различных видов деревьев и кустарников. 1963 г.

В и д	Начало роста	Конец роста	Продолжи- тельность роста, дни
Сирень обыкновенная	4 V	26. V	22
Жимолость татарская	4. V	24. V	20
Ясень зеленый	8. V	20. V	12
Липа мелколистная	11. V	22. V	11
Тополь бальзамический	6. V	4. VI	29
Лиственница Сукачева	29. V	16. VII	48
Желтая акация	8. V	25. V	17
Рябина обыкновенная	6. V	22. V	14
Дуб черешчатый	9. V	27. V	18
Клен ясенелистный	5. V	25. VI	51
Вяз гладкий	7. V	25. V	18
Черемуха обыкновенная	4. V	20. V	16
Лещина обыкновенная	5. V	13. VII	69
Клен остролистный	6. V	26. V	20
Береза бородавчатая	5. V	24. VI	50
Белая акация	16. V	25. VIII	101
Аморфа кустарниковая	18. V	27. VIII	101
Смородина черная	1. V	2. VIII	93
Малина обыкновенная	3. V	5. VIII	94
Ольха серая	11. V	17. VII	67

мнение о повышении биологической или, точнее, регенерационной газоустойчивости при увеличении продолжительности периода роста побегов в длину и более позднем вхождении почек в состояние глубокого покоя

На процесс повторного облиствения заметное влияние могут оказывать погодные условия, и прежде всего температура воздуха. Так, заметное похолодание воздуха в конце мая (до  $-0,9^{\circ}$ ) отрицательно повлияло на темпы облиствения побегов у ряда видов, и в частности у жимолости, тополя, желтой акации, вяза гладкого, лещины. У них длительность отрастания новых листьев возросла до 20 дней, тогда как в теплое время (конец июня, июль) она составляла 7-10 дней. Эти данные, легко объяснимые в плане тесной зависимости ростовых процессов от температурных условий, могут быть полезны при выяснении значительных колебаний степени выраженности биологической газоустойчивости в разных зонально-географических условиях и в разные годы (Шабликовский, Красинский, 1950; Булгаков, 1958).

Рассмотрим еще один вопрос. Как мы видели, разные виды деревьев и кустарников теряют способность к повторному облиствению в разное время вегетационного периода. Лишенные же листьев побеги могут по-

Таблица 9

Продолжительность критического периода безлистных побегов в связи с летним иссушением у различных видов деревьев и кустарников. 1963 г.

В и д	Начало - срок последней дефолиации, после которой побеги теряют способность к облиствению и гибнут от иссушения	Конец - срок, после которого дефолированные безлистные побеги остаются живы	Продолжительность, дни
Сирень обыкновенная	28 мая	9 июля	41
Жимолость татарская	19 июня	10 августа	52
Липа мелколистная	28 июня	28 июля	30
Ясень зеленый	19 июня	18 июля	29
Тополь бальзамический	18 июля	28 июля	10
Лиственница Сукачева	18 июля	28 июля	10
Желтая акация	28 июня	28 июля	30
Дуб черешчатый	1 июля	2 августа	32
Вяз гладкий	19 июля	29 июля	10
Рябина обыкновенная	20 июня	5 августа	46
Черемуха обыкновенная	10 июля	5 августа	26
Береза бородавчатая	29 июня	29 июля	30

гибать от летнего иссушения. Наши наблюдения показали, что безлистные побеги многих видов действительно погибают (табл. 9). Периодом наибольшей их уязвимости в связи с действием иссушающих факторов, или критическим периодом, у них является чаще всего конец июня и июль, когда новообразования листьев нет, засухоустойчивость безлистных побегов незначительна, а напряженность иссушающих факторов велика. Следует отметить, что в августе и особенно в сентябре безлистные побеги у всех видов сохраняют жизнеспособность. Это может быть объяснено, с одной стороны, ослаблением напряженности иссушающих факторов, а с другой стороны, - повышением засухоустойчивости побегов благодаря более полной морфологической сформированности. Важно отметить, что целый ряд видов, как лещина обыкновенная, клен остролистный, клен ясенелистный, белая акация, аморфа кустарниковая, смородина черная, малина обыкновенная, ольха серая, несмотря на систематическое удаление листьев, не испытывает губительного летнего иссушения. Сохранение жизнеспособности побегов при летних поражениях листьев обеспечивается не только образованием новых листьев, но и засухоустойчивостью побегов в безлистном состоянии. В послед-

нем случае существенное значение имеют критические периоды в связи с воздействием летних иссушающих факторов (Седашева, 1957; Turpinu, Bindiu, 1962). В наших опытах начало критического периода определялось сроком последней дефолиации, после которой побеги теряли способность к облиствению и гибли от иссушения, а конец — сроком, после которого дефолированные безлистные побеги оставались живы.

Нами установлено, что ряд видов, как, например, сирень обыкновенная, жимолость татарская, рябина обыкновенная, имеет значительную (41–52 дня) продолжительность критического периода, тогда как у других (тополь, лиственница, вяз гладкий) она невелика; у липы, ясеня, желтой акации, дуба, черемухи, березы критический период равняется примерно одному месяцу. Представляют большой интерес лещина, клен остролистный и ясенелистный, белая акация, аморфа, смородина, малина и ольха, у которых при систематическом удалении листьев критический период не возникает. Выявленные закономерности дают возможность объяснить в экологическом плане изменение степени губительности газовых воздействий в связи с их приуроченностью к различным срокам периода вегетации и фазам роста и развития древесных растений.

## Выводы

1. Фитотоксичность одного из наиболее распространенных и опасных газов — двуокиси серы — сильно варьирует в связи с изменениями внешней среды, и в частности светового и температурного режимов воздуха. Одно и то же по концентрации и продолжительности газовое воздействие производит максимальные повреждения растений в полуденное время при наибольшей освещенности и нагретости воздуха и минимальные — ночью, при резком ослаблении освещенности. В условиях затенения газовые повреждения листьев заметно ниже, чем на открытом месте, несмотря на возрастание их газочувствительности в связи с формированием теневых структур.

2. В повреждаемости листьев токсичными газами различия в их водном режиме (общее содержание воды, содержание свободной и связанной воды, водоудерживающая способность) существенного значения не имеют. Снижению газочувствительности листьев способствуют лишь такие изменения в их засухоустойчивости, которые сопровождаются развитием ксероморфных структур.

3. Токсичные газы неблагоприятно влияют на водный режим листьев, вызывая значительное снижение в содержании связанной воды и водоудерживающей способности. Это связано с отрицательным влиянием газов на синтез гидрофильных биocolлоидов в связи с угнетением жизнедеятельности листьев. Именно поэтому у наиболее газоустойчивых пород (тополь бальзамический) эти изменения в водном режиме выражены в наименьшей степени. Снижая устойчивость листьев к обезвоживанию, токсичные газы тем самым могут приводить виды с наиболее газочувствительными листьями к отмиранию во время засух. Ос-

лабленные листья ряда видов (вяз перистоветвистый, береза пушистая, ясень зеленый, клен ясенелистный) выдерживают действие умеренных атмосферных засух, но быстро гибнут при затруднении почвенного водоснабжения. В этой связи весьма важно лучшее сохранение корневых систем саженцев, так как даже на свежих и влажных почвах они могут засыхать в год посадки; частичное ухудшение в водоснабжении из-за повреждения корней ведет к быстрому опадению ослабленных газами листьев и засыханию оголенных крон.

4. Неблагоприятное влияние токсичных газов снижает устойчивость древесных пород к зимним условиям, но не настолько, чтобы вызвать их отмирание от зимнего иссушения. Обусловленный действием нефтяных газов затяжной рост и связанное с ним слабое одревеснение кле-на ясенелистного являются причиной их повреждений зимними низкими температурами. Загрязнение снега и ветвей древесных пород частица-ми сажи приводит к преждевременному (в апреле) набуханию почек вследствие раннего стаивания снега и нагревания солнечными лучами темных от сажи ветвей. В связи с этим возможны случаи гибели побегов и ветвей при сильных морозах в ранневесеннее время.

5. Существенное значение в выживаемости деревьев и кустарников после сильных газовых поражений облиственных крон имеет способность побегов к повторному облиствению. Эта способность связана не только с новообразованием листьев при продолжающемся росте побегов в длину, но и с раскрытием уже заложившихся почек. В связи с потерей способности к восстановлению погибших листьев и действием летних иссушающих факторов возникают особо опасные критические периоды, когда происходит отмирание безлистных побегов. Длительность и приуроченность критических периодов зависит от сроков прекращения повторного облиствения, засухоустойчивости безлистных побегов и погодных условий. У ряда видов деревьев и кустарников с сильно выраженной и длительной способностью к восстановлению листвы критических периодов нет (белая акация, клен ясенелистный, ольха серая, смородина черная и др.). У многих видов (липа, лиственница, дуб, береза и др.) критический период приурочен к середине вегетации (июль), но у некоторых (сирень, жимолость, ясень) он включает в себя и более раннее время — июнь.

### ГАЗОУСТОЙЧИВОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДОВ

В лесостепном Предуралье в последние десятилетия особенно интенсивно развиваются нефтеперерабатывающая и химическая промышленность. Переработка нефти с целью получения различных ценных продуктов представляет собой сложный и длительный процесс, сопровождающийся выделением в атмосферный воздух разнообразных газообразных соединений вследствие недостаточной герметичности установок, их громоздкости. Четким примером в этом отношении могут служить нефтеперерабатывающий завод (НПЗ) и примыкающая к нему теплоэлектростанция. Вкратце картина технологического процесса заключается в следующем. Предварительно очищенная от воды, минеральных солей, песчаных и глинистых частиц нефть подвергается перегонке при температуре  $330^{\circ}$  в трубчатых печах. Из них нефть в виде паров и мазута поступает в ректификационную колонну, где вследствие различий в удельных весах осуществляется получение ряда ценных продуктов, как-то: мазут, соляровый дистиллат, газойль, керосин, лигроин и бензин. Обследование территории одного из нефтеперегонных заводов, где осуществляется подобный процесс, показывает почти полное отсутствие каких-либо признаков газовых повреждений многих видов деревьев и кустарников и успешное их произрастание. Но в дальнейшем мазутный и соляровый дистиллаты, количество которых достигает 60% от исходного количества взятой нефти, подвергаются более жесткой переработке при каталитическом крекинге, где наряду с использованием специальных катализаторов нагрев повышается до  $500-550^{\circ}$ . В результате расщепления высокомолекулярных соединений мазутно-соляровой массы на низкомолекулярные здесь получают легкие фракции типа керосина и бензина и одновременно загрязняют атмосферный воздух большим набором предельных и непредельных углеводородов (метан, этан, бутан, этилен, бутулен, пропилен и др.) с примесью сероводорода, сернистого и угарного газов (Карпов, 1953). И при последующей переработке оставшегося тяжелого мазута, осуществляемой в так называемых атмосферно-вакуумных трубчатках в условиях вакуума и значительного нагрева, получают те же продукты и так же загрязняют воздух. Но при этом уже наблюдается поражение ряда видов деревьев газами, которые в дальнейшем мы будем обозначать как нефтяные газы. (В предыдущей главе дана характеристика ряда фактов, полученных для данных условий.) Остающийся в конце переработки нефти тяжелый мазут оказывается сильно насыщенным соединениями серы, поскольку используемые нефти вообще отличаются высоким (более 4%) содержанием серы. Этот мазут сжигается в топках теплоэлектростанции, что приводит к выбросу в атмосферу значительных количеств двуокиси серы. На других заводах источником двуокиси серы являются сернокислотные цеха.

## О газоустойчивости деревьев и кустарников на территории нефтеперерабатывающих заводов

В научной литературе вопрос о газоустойчивости древесных растений при произрастании на территории нефтеперерабатывающих заводов разработан пока неполно. Известны всего лишь статьи Э.А. Капкаева (1960), Г.Я. Седашевой (1960), Е.В. Кучерова, Б.И. Федорако (1964). Капкаев приводит данные о степени загазованности атмосферного воздуха и указывает, что промышленные выбросы оказывают вредное влияние на растительность, которая вянет, желтеет и даже гибнет в районах расположения промпредприятий. Седашева подчеркивает, что на территории заводов в первую очередь гибнут те деревья и кустарники, которые находятся под прямым влиянием дымовых выбросов. У пораженных экземпляров листья темнеют, скручиваются и опадают, но со временем снова восстанавливаются. Полное отмирание растений происходит в результате систематических и сильных ожогов листьев. Кучеров и Федорако (1964) сообщают о результатах наблюдений, проведенных в г. Уфе за повреждаемостью дымовыми газами древесных и кустарниковых пород. Отмечается, что относительно газоустойчивы тополи гибридный, березинский, бальзамический и оскорь, а из кустарников – роза морщинистая; сравнительно небольшие повреждения у вяза, липы и яблони, а из кустарников – у жимолости татарской, чубушника, смородины черной, малины, снежноягодника, сирени и желтой акации; к деревьям средней устойчивости могут быть отнесены береза бородавчатая, ясень зеленый и рябина; к числу сильно повреждаемых, имеющих угнетенный рост и выраженную недолговечность, а поэтому мало пригодных для озеленения, могут быть отнесены клен ясенелистный, вяз мелколистный, туркестанский, лиственница сибирская, сосна, ель и пихта.

В соответствии с планом благоустройства территории и окрестности указанных предприятий подлежат озеленению. Ежегодно высаживаются десятки сотен саженцев различных видов деревьев и кустарников.

Интересующая нас территория может быть разбита на следующие три зоны задымления: 1 – зона постоянного задымления нефтяными газами, включающая в себя всю территорию; в чистом виде эта зона представлена в западной, центральной и северной частях НПЗ; 2 – зона периодического слабого–среднего задымления с преобладанием двуокиси серы, представленная в южной части территории НПЗ; эта зона накладывается на зону постоянного задымления нефтяными газами и, следовательно, в чистом виде не существует; 3 – зона эпизодического сильного задымления с преобладанием двуокиси серы, не имеющая строгой локализации в связи с переменным ветровым режимом и бессистемным выбросом в атмосферный воздух повышенных количеств двуокиси серы; она может проявиться в любой части предыдущей зоны.

В условиях постоянного задымления нефтяными газами успешно произрастают, не испытывая газовых повреждений, такие виды, как тополь бальзамический, тополь черный, ива белая, вяз гладкий клен остролистный, яблоня (ранетка мелкоплодная, грушовка московская и др.), смородина черная, малина обыкновенная, сирень обыкновенная, желтая

акация, жимолость татарская, роза морщинистая, чубушник вечный, дерен белый (*Cornus alba* L.), бузина красная (*Sambucus racemosa* L.) белая акация. Но в этих же условиях испытывают заметное угнетение и постепенно отмирают такие виды, как вяз перистоветвистый, береза пушистая, береза бородавчатая, ясень зеленый, клен ясенелистный.

**Вяз перистоветвистый.** Листья вяза в период их роста и формирования проявляют повышенную чувствительность к нефтяным газам. Под их влиянием края молодых листочков слегка обжигаются и приостанавливаются в росте, листовая же пластинка приобретает болезненный зеленовато-желтый цвет и деформируется. Деформация листовой пластинки происходит вследствие продолжающегося роста ее срединной части при задержке роста краевой зоны. В итоге лист приобретает форму лодочки - приподнятые края при опущенной срединной части. Размеры пораженных листьев заметно уменьшаются. Так, длина листовой пластинки снижается с 5-6 см (у контрольных экземпляров, растущих вне задымления) до 1,5-2 см, ширина - с 2,2-2,5 до 0,8-1 см. Размеры почек уменьшаются по высоте в четыре раза, по толщине - в два раза. Длина побега уменьшается до 5 см (у контрольных - 30-35 см). У пораженных побегов вяза существенно изменяется и характер роста: число междоузлий и их протяженность уменьшаются. У пораженных побегов число междоузлий равно пяти при средней их длине 0,8 см с колебанием от 0,4 до 1,1 см. У контрольных же побегов число междоузлий достигает 20, средняя длина их составляет 1,8 см при колебаниях от 0,6 до 2,5 см. Длительность же роста в длину и у здоровых, и у пораженных побегов одинакова и весьма велика - с начала мая до середины августа (в 1963 г. - с 8-10 мая до 17-20 августа). Все это свидетельствует о значительном изменении характера роста побегов вяза в условиях постоянного действия нефтяных газов. Деформированные и измельченные листья вяза обладают пониженной засухоустойчивостью, быстро засыхают и опадают в сухую и жаркую погоду. Необходимо, однако, отметить, что на территории и в окрестностях НПЗ с их свежими глубокими темно-серыми почвами, подстилаемыми делювиальными влагоемкими глинами, полная гибель вязов, от усыхания происходит лишь в первые один-два года после посадки, т.е. в период их укоренения и приживания. Так, например, высаженные на территории НПЗ осенью 1960 г. и весной 1961 г. несколько сот четырех-пятилетних саженцев вяза перистоветвистого почти полностью погибли от летней засухи 1961 г. Единично сохранившиеся экземпляры вяза характеризуются крайне угнетенным состоянием в силу своеобразного газового поражения листьев. Хорошее водоснабжение кроны благодаря укоренению деревцов вяза позволяет его ослабленным и измельченным листьям выдерживать в определенной мере действие летних атмосферных засух. Однако угнетенное состояние деревцов и слабое развитие их побегов приводит к тому, что весной часть почек, заложившихся в пазухах заметно ослабленных листьев, не раскрывается. Безлистные же побеги засыхают. Поэтому в кроне вязов постепенно количество сухих ветвей возрастает, что приводит к полному отмиранию деревцов; обычно это наступает через 3-5 лет.

Береза пушистая. Характер воздействия нефтяных газов на листья таков же, как и у вяза перистоветвистого. Одновременно с деформацией листьев березы мельчают. Так, по длине листовая пластинка уменьшается с 6–7 см (у контрольных) до 1,7–2 см, а по ширине – с 5–6 см до 1,4–1,6 см. Размеры почек по высоте сокращаются в 1,7 раза, по толщине – в 2 раза. Толщина побегов текущего прироста снижается в 2,1 раза. Количество междоузлий остается без изменений (5–7), но их длина у пораженных берез колеблется от 0,6 до 1,9 см (в среднем 1,1 см), тогда как у контрольных берез она составляет 3,4 с колебанием от 3 до 4 см. Сохранившиеся после массового отмирания от летнего иссушения в год посадки единичные березы живут более длительное время (до 10–15 лет) в условиях задымления. По имеющимся, но ограниченным, наблюдениям за березой бородавчатой можно сделать предварительный вывод о сходстве характера ее газоустойчивости с березой пушистой.

Ясень зеленый. Деформация листьев происходит несколько иначе, чем у вяза перистоветвистого и березы пушистой. Края его листьев (точнее, листочков его непарноперистосложного листа) заворачиваются не кверху, а книзу; срединная часть листочка становится выпуклой не нижним, как у вяза и березы, а верхним эпидермисом. Сопоставление побегов ясеня, пораженных газом и здоровых (контрольных), позволяет установить факт измельчения листьев, почек и стеблей побегов. Так, длина листочков уменьшается с 8,5 до 6 см, а их ширина – с 3,5 до 3 см. Высота почек сокращается в 2 раза, а их толщина – в 1,2 раза. Толщина стебля снижается в 1,5 раза. Количество междоузлий несколько уменьшается (с 4–5 до 3); длина их также сокращается – с 6,8 см (колебания от 1,5 до 9,5 см) до 2,7 см (колебания от 0,8 до 3,8 см). На территории НПЗ ясень зеленый проявляет в сравнении с вязом перистоветвистым и березой пушистой заметно большую устойчивость. В состоянии угнетения ясень способен жить продолжительное время: по имеющимся данным, – до 25–30 лет.

Клен ясенелистный. В отличие от вяза, березы и ясеня клен ведет себя в условиях задымления совершенно иначе. Под влиянием нефтяных газов его побеги длительно, вплоть до осенних заморозков (середина сентября), растут в длину. У контрольных экземпляров рост побегов обычно прекращается в конце июня, и лишь у порослевых побегов он длится иногда до конца августа. Пораженные побеги клена отличаются слабым одревеснением в верхней части, а также мелкими, деформированными сходно с листьями вяза и березы зеленовато-желтыми листьями. Длина листочков сложного листа клена сокращается с 8–10 до 3–4 см, а ширина – с 3–5 до 1,2–3 см. Почки по длине уменьшаются в 1,5 раза, а по толщине – в 2,5 раза. Стебель побега утончается почти в 2 раза. Характер роста побега существенно изменяется. При заметном увеличении продолжительности роста побега в длину отмечается возрастание числа междоузлий с 5–6 (у контрольных) до 10–12. Длина междоузлий у пораженных побегов меньше: с 6,6 см (колебания от 3,5 до 10 см) сокращается до 2,5 (колебания от 0,5 до 4 см). У хорошо укоренившихся кленов такие облиственные побеги вы-

держивают неблагоприятное воздействие летних атмосферных засух, несмотря на пониженную водоудерживающую способность листьев. Нарушение почвенного водоснабжения, наблюдающееся у кленовых саженцев в год посадки, приводит к массовому отмиранию от летнего иссушения. В зимний период слабо одревесневшая верхняя часть побегов клена погибает от морозов. Отмершая часть побега достигает 40–60% от всей длины побега. Следует заметить, что у порослевых побегов клена, выросших вне задымления, в суровые зимы (например, в 1962/63 г.) в условиях г.Уфы гибнет от мороза слабо одревесневшая верхушка длиной 2–3 см, составляющая 5–8% от длины всего побега. В кронах деревьев клена на территории НПЗ отмечается большое количество наполовину погибших побегов. Но это обстоятельство не приводит к отмиранию всей его кроны, так как после перезимовки из почек нижней, уцелевшей от морозов, части побегов и из спящих почек развиваются новые листья и побеги. Необходимо, однако, заметить, что побеги из стволовых и комлевых спящих почек возникают редко при наличии живых, хотя и заметно поврежденных ветвей в кроне.

Небезынтересно вкратце ознакомиться с состоянием высокогазоустойчивых видов.

Тополь бальзамический образует хорошо растущие, густо облиственные посадки, созданные вдоль аллей и дорог на территории завода. В возрасте 10–12 лет деревья тополя имеют высоту 6–7 м при диаметре ствола 14–16 см. Реже встречающийся в посадках тополь черный проявляет столь же хороший рост. Обращают на себя внимание густо облиственные деревья вяза гладкого и клена остролистного. В возрасте 12–14 лет они имеют высоту 4–5 м. Каких-либо газовых повреждений в кронах вяза и клена не отмечается. Густооблиственными здоровыми зелеными нормально развитыми кустами характеризуются сирень обыкновенная, желтая акация, чубушник вечнозеленый, роза морщинистая, жимолость татарская, дерен белый, барбарис обыкновенный, снежноягодник кистистый. Важно отметить хорошее состояние дуба черешчатого, плодоносящего, хотя и слабо, но дающего здоровый самосев.

Интересно отметить факт неповреждаемости нефтяными газами листьев белой акации в течение всего лета вплоть до осенних заморозков, отличающейся густой зеленой кроной. В 14-летнем возрасте белая акация имеет облик деревца высотой 5 м при диаметре ствола 7 см. Побеги белой акации страдают от зимних морозов. По шкале С.Я. Соколова (1957), зимостойкость акации при отсутствии затенения может быть оценена баллом "2". Так, прирост 1960 г. общей длиной 48 см потерял от вымерзания двенадцатисантиметровую верхнюю часть; прирост 1961 г. при той же длине потерял 7 см; у прироста 1962 г. в 45 см погибла от вымерзания десятисантиметровая верхушка. Причиной вымерзания верхушек побегов является слабое их одревеснение вследствие затяжного роста. У затененных (кронами тополей и вязов) и слабее развитых деревьев белой акации (в возрасте 14 лет высота ствола 3–4 м при диаметре 2,5–5,1 см) от морозов гибнут двух – шестилетние ветви (балл "5"). В наиболее суровые годы может погибать вся надземная часть до уровня снегового покрова (балл "6"). Однако как хо-

рошо развитые, так и угнетенные затенением дерева белой акации не погибают от вымерзания полностью, поскольку восстановление погибших органов весьма энергично осуществляется за счет сохранившихся на ветвях почек и за счет пнево-порослевых побегов.

На основании вышеизложенного неизбежно возникает вопрос о причинах резко различного действия нефтяных газов на различные виды деревьев и кустарников. Прежде всего следует особо подчеркнуть, что угнетающее воздействие нефтяные газы оказывают лишь на молодые растущие листья вяза перистоветвистого, березы пушистой, ясеня зеленого и клена ясенелистного. Полностью сформированные листья этих видов никаких морфологических изменений (ожогов, деформаций) не обнаруживают. Следовательно, в отношении к нефтяным газам у этих видов наблюдается период наибольшей их газочувствительности, или критический период, совпадающий с периодом роста и формирования листьев. В связи с этим возникает предположение о том, что газостойчивые виды в отличие от негазостойчивых обладают весьма коротким периодом формирования листьев. Однако данные табл. 10 не подтверждают этого. Очевидно, в основе их различной газочувствительности лежат различия в физиолого-биохимических свойствах. Можно допустить присутствие в нефтяных газах, имеющих весьма сложный и до сих пор детально не изученный состав, каких-то соединений, обладающих специфическими фитотоксичными свойствами. Переработка нефти, как известно, дает целый ряд весьма активных веществ. Уместно привести некоторые результаты исследования Н.П. Красинского и В.М. Побединской (1950) на промплощадках предприятий нефтяной и химической промышленности. Сообщается о весьма своеобразном действии неких

Таблица 10

Продолжительность роста листьев различных видов деревьев и кустарников. г. Уфа, 1963 г.

В и д	Начало	Конец	Продолжительность, дни
Ясень зеленый	8 мая	31 мая	23
Береза пушистая	8 мая	1 июня	24
Клен ясенелистный	5 мая	27 мая	22
Липа мелколистная	11 мая	30 мая	19
Вяз гладкий	7 мая	27 мая	20
Клен остролистный	6 мая	30 мая	24
Тополь бальзамический	6 мая	27 мая	21
Рябина обыкновенная	6 мая	25 мая	19
Черемуха обыкновенная	4 мая	21 мая	17
Сирень обыкновенная	4 мая	25 мая	21
Жимолость татарская	4 мая	21 мая	17
Желтая акация	8 мая	1 июня	24

нефтяных газов, которые не только повреждали (обжигали) листья, но и вызывали ряд глубоких изменений физиолого-биохимических процессов в растительных организмах. Внешне эти изменения выражались в резкой задержке и даже в полном выпадении цветения (например, у травянистых цветочных культур — тагетеса, петунии, амарантуса, вербены), в сильном вытягивании стеблей и в уменьшении листовых пластинок, в изменении окраски листьев и в явлении гипонастии у них. Красинский и Побединская подчеркивают тот факт, что на отдельные виды растений нефтяные газы никакого видимого воздействия не оказывали. В отношении устойчивости деревьев и кустарников сообщается, что от дымовых отходов нефтезавода сильно страдают такие породы, как спирея, жимолость, липа, сирень, желтая акация, и рекомендуется использовать для озеленения завода тополя.

Сопоставляя эти факты с установленными нами, можно отметить наряду с некоторым сходством (своеобразное повреждение облиственных побегов, высокая газоустойчивость тополей) и различия, касающиеся оценки газоустойчивости липы, жимолости, сирени и желтой акации. В качестве объяснения этих различий можно привести предположение о наличии иной технологии на НПЗ в сравнении с нефтезаводом, обследованным Красинским и Побединской, и, следовательно, ином газовом составе дымовых выделений.

Каково же состояние посадок деревьев и кустарников в сфере воздействия дымовых отходов теплоэлектростанции, в составе которых преобладает двуокись серы?

В зоне периодического слабого — среднего задымления двуокисью серы, по наблюдениям 1961 г., в результате двух газовых атак (первая — в конце мая, вторая — в середине июля) полностью погибли лиственница Сукачева и пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledb). После майского поражения хвои у лиственницы произошло через две-три недели повторное охвоение. Располагая новой хвоей, лиственница способна достаточно успешно продолжать вегетацию и перезимовать. Однако вторая, июльская, газовая атака снова лишила крону лиственницы хвои. Нового, третьего, поколения хвои в кроне лиственницы не появилось. Полностью обесхвоенные побеги и ветви, а затем и дерево лиственницы в течение июля — августа погибли от иссушения. Газочувствительная хвоя пихты также погибла. Лишенные хвои ветви засохли в это же лето, что привело к полному отмиранию деревьев. Посадки лиственницы и пихты отмирают в подобных условиях в первые один-два года после посадки. Ель сибирская, обладающая более ксероморфной и менее газочувствительной хвоей, выдерживает, несколько больше — до 5-7 лет. Под влиянием задымления резко, до 1,5-2 лет, сокращается продолжительность жизни хвои, уменьшается длина хвоинок с 1,5-1,7 см до 1,1-1,3 см, снижается прирост побегов в длину с 18-30 см до 6-10 см.

В табл. 11 приведены данные, характеризующие состояние крон ряда видов деревьев и кустарников в июле 1961 г., после чего произошло отмирание лиственницы и пихты. Все остальные виды, несмотря на газовые повреждения, успешно перезимовали и на следующий год более или менее нормально начали вегетацию.

Таблица 11

Состояние крон деревьев и кустарников  
на территории НПЗ. Июль 1961 г.

В и д	Облиственность кроны, %	Пораженность листьев, %
Лиственница Сукачева	80	100
Пихта сибирская	30	90-95
Ель сибирская	50	45-50
Ясень зеленый	80	30-40
Береза пушистая	70	50-60
Липа мелколистная	100	20
Вяз гладкий	80	10-15
Клен остролистный	100	10-15
Тополь бальзамический	100	5-10
Рябина обыкновенная	100	30-40
Черемуха обыкновенная	70	30-40
Сирень обыкновенная	90	10
Жимолость татарская	90	10
Желтая акация	100	20-30
Дерен белый	100	1
Чубушник венечный	100	1
Роза морщинистая	100	1
Барбарис обыкновенный	90	10
Снежноягодник кистистый	90	10
Кизильник блестящий	50-60	50

Таблица 12

Поврежденность листьев различных видов деревьев и кустарников  
двуокисью серы 14 мая 1962 г. на территории НПЗ.

В и д	Поврежден- ность листь- ев, %	В и д	Поврежден- ность листь- ев, %
Ясень зеленый	90-100	Сирень обыкновенная	80-100
Береза пушистая	90-100	Жимолость татарская	80-100
Липа мелколистная	90-100	Желтая акация	90-100
Вяз гладкий	60-70	Дерен белый	20-30
Клен остролистный	60-70	Чубушник венечный	5-10
Тополь бальзамичес- кий	80-100	Роза морщинистая	5-10
Рябина обыкновенная	80-90	Барбарис обыкновен- ный	90-100
Черемуха обыкновен- ная	60-70	Снежноягодник	90-100
		Кизильник блестящий	90-100

Таблица 13

Восстановление листвы в кроне деревьев и кустарников после сильной раннелетней (14-15 мая) газовой атаки на территории НПЗ. 10. VIII. 1962 г.

В и д	Способ повторного облиствения за счет			
	верхушечного прорастающего	раскрытия заживших почек - возникновения пролептических побегов	смешанно-верхушечного продолжения роста и возникновения пролептических побегов	спящих почек и образования порослевых побегов
Ясень зеленый	-	+	-	-
Береза пушистая	-	-	+	-
Липа мелколистная	-	+	-	-
Вяз гладкий	-	-	+	-
Клен остролистный	+	-	-	-
Тополь бальзамический	-	-	+	-
Рябина обыкновенная	+	-	-	-
Черемуха обыкновенная	-	-	+	-
Сирень обыкновенная	-	-	-	+
Жимолость татарская	-	-	-	+
Желтая акация	-	-	+	-
Дерен белый	+	-	-	-
Чубушник венечный	+	-	-	-
Роза морщинистая	+	-	-	-
Барбарис обыкновенный	-	-	-	+
Снежнаягодник кистистый	-	-	-	+
Кизильник блестящий	-	-	+	-

В 1962 г. теплая сухая погода апреля и первой половины мая неожиданно, 14 мая, сменилась дождливой погодой с холодными северо-восточными ветрами. В это время из труб теплоэлектростанции выбрасывались повышенные количества двуокиси серы. Поэтому интенсивность этого раннелетнего газового действия оказалась настолько высокой, что полностью или почти полностью были обожжены листья всех видов, за исключением дерена белого, чубушника венечного и розы морщинистой (табл. 12). В течение последующих 2-4 недель у всех видов, за исключением сирени, жимолости, барбариса и снежнойгодника, произошло повторное облиствение дефолированных побегов (табл. 13). Клен

остролистный и рябина обыкновенная наиболее успешно восстановили листья в результате продолжающегося роста побегов в длину и связанного с ним новообразования листьев. К этому способу восстановления листьев у березы пушистой, вяза гладкого, тополя бальзамического, черемухи обыкновенной, желтой акации и кизильника блестящего (*Cotoneaster lucida* Schlecht.) прибавлен еще и способ образования листьев за счет раскрытия заложившихся почек. Ясень зеленый и липа мелколистная, обладающие весьма коротким периодом роста побегов в длину и к 10–12 мая вследствие раннего начала вегетации (29.IV. –1.V) закончившие этот рост, восстановили листья только за счет раскрытия заложившихся почек. Но при этом у ясеня на одной трети ветвей раскрытия почек и повторного облиствения не произошло, что можно объяснить общим угнетенным состоянием деревьев от воздействия нефтяных газов. Безлистные ветви погибли от иссушения. У липы же все ветви повторно покрылись листвой, начался рост новых побегов. Однако последние оказались слабо развитыми, тонкими и с весьма мелкими почками. Большинство этих почек нежизнеспособно. В дальнейшем побеги с такими почками остались безлистыми и засохли. Поэтому в кронах лип появилось значительное количество сухих побегов; полного же усыхания скелетных ветвей не наблюдалось, поскольку на их нижних частях сохранились более крупные и жизнеспособные почки. Побеги и ветви сирени, жимолости, барбариса и снежноягодника, оказавшись безлистыми, погибли от летнего иссушения. Но полного отмирания их кустов не произошло, так как в середине июня, т.е. через месяц после газового поражения, из спящих почек на нижних частях стволов начали появляться порослевые побеги. За их счет и благодаря наличию здоровой корневой системы началось восстановление надземной части этих кустарников. После завершения процесса повторного облиствения в начале июля кроны деревьев и кустарников подверглись воздействию новой, но слабой газовой атаки. В табл. 14 приведены данные, характеризующие степень облиственности крон и пораженности листьев после второй (июльской) газовой атаки.

Весной 1963 г. почти все деревья и кустарники на территории НПЗ начали вегетацию в одни и те же сроки, что и в дендрарии вне задымления (табл. 15). Отмечено значительное запаздание в облиствении лишь у липы мелколистной и ясеня зеленого.

К началу июня очень слабые ожоги появились на листьях березы пушистой и значительные, до 30% поверхности листа, – у кизильника блестящего. В июне площадь ожогов у этих двух видов несколько возросла, а также появились газовые повреждения на листьях ясеня зеленого, липы мелколистной, вяза гладкого, черемухи и желтой акации. К середине июля дополнительное газовое воздействие обусловило поражение листьев у всех, без исключения, видов, но у большинства из них слабое и лишь у березы, липы и особенно у желтой акации и кизильника блестящего – среднее. 6 августа во время дождливой погоды произошло воздействие на посадки деревьев и кустарников средней по интенсивности газовой атаки. Листья ясеня, березы, липы, тополя, желтой акации и кизильника оказались сильно поражены; среднее по-

Таблица 14

Облиственность крон и повреждаемость новых листьев деревьев и кустарников после второй (в начале июля) газовой атаки на территории НПЗ. 10. VIII. 1962 г.

В и д	Облиственность кроны, %	Пораженность листьев, %
Ясень зеленый	50-60	40
Береза пушистая	30-40	40
Липа мелколистная	30-40	30
Вяз гладкий	70-80	30
Клен остролистный	40	10
Тополь бальзамический	40	20
Рябина обыкновенная	30-40	10
Черемуха обыкновенная	30-40	10
Сирень обыкновенная	5-10	10
Жимолость татарская	5-10	10
Желтая акация	50	15
Дерен белый	90-100	1
Чубушник венечный	100	0
Роза морщинистая	100	0
Барбарис обыкновенный	5	20
Снежноягодник кистистый	5	20
Кизильник блестящий	30-40	50

Таблица 15

Начало облиствения крон различных видов деревьев и кустарников в связи с задымлением, 1963 г.

В и д	НПЗ	Контроль
Ясень зеленый	19 мая	8 мая
Береза пушистая	6 мая	5 мая
Липа мелколистная	16 мая	11 мая
Вяз гладкий	8 мая	7 мая
Клен остролистный	6 мая	6 мая
Тополь бальзамический	6 мая	6 мая
Рябина обыкновенная	6 мая	6 мая
Черемуха обыкновенная	4 мая	4 мая
Сирень обыкновенная	6 мая	4 мая
Жимолость татарская	4 мая	3 мая
Желтая акация	8 мая	8 мая
Дерен белый	6 мая	6 мая
Чубушник венечный	6 мая	6 мая
Роза морщинистая	6 мая	6 мая
Барбарис обыкновенный	5 мая	4 мая
Снежноягодник кистистый	6 мая	6 мая
Кизильник блестящий	5 мая	4 мая

Таблица 16

Повреждаемость листьев (в %) деревьев и кустарников  
 двуокисью серы в летний период 1963 г.  
 на территории НПЗ

В и д	Срок наблюдений			
	1.VI	21.VI	15.VII	8.VIII
Ясень зеленый	0	1	10	50-60
Береза пушистая	1	5	20	50
Липа мелколистная	0	10	20	50-60
Вяз гладкий	0	1	10	30-40
Клен остролистный	0	0	10	20-30
Тополь бальзамический	0	0	10	20-30
Рябина обыкновенная	0	0	10	40-50
Черемуха обыкновенная	0	1	5	50
Сирень обыкновенная	0	0	5	30-40
Жимолость татарская	0	0	5	20-30
Желтая акация	0	10	40	80-100
Дерен белый	0	0	1-3	8-10
Чубушник венечный	0	0	1	3-5
Роза морщинистая	0	0	1	3-5
Барбарис обыкновенный	0	0	5	30-40
Снежноягодник кистистый	0	0	5	30-40
Кизильник блестящий	30	40	50	90-100

Таблица 17

Завершение осеннего листопада у различных видов  
 деревьев и кустарников в связи с задымлением. 1963 г.

В и д	НПЗ	Контроль
Ясень зеленый	2 сентября	8 октября
Береза пушистая	26 сентября	9 октября
Липа мелколистная	4 сентября	1 октября
Вяз гладкий	26 сентября	4 октября
Клен остролистный	1 октября	6 октября
Тополь бальзамический	3 октября	5 октября
Рябина обыкновенная	7 сентября	9 октября
Черемуха обыкновенная	29 сентября	5 октября
Сирень обыкновенная	11 октября	16 октября
Жимолость татарская	22 октября	25 октября
Желтая акация	2 октября	12 октября
Дерен белый	14 октября	14 октября
Чубушник венечный	12 октября	12 октября
Роза морщинистая	30 октября	30 октября
Барбарис обыкновенный	26 октября	30 октября
Снежноягодник кистистый	20 октября	25 октября
Кизильник блестящий	1 октября	13 октября

ражение отмечено у листьев вяза, клена, рябины, черемухи, сирени, жимолости, барбариса и снежноягодника. Лишь роза морщинистая, чубушник венечный и дерен белый оказались поврежденными, проявив и в этом случае до конца вегетации высокую газоустойчивость своих листьев (табл. 16).

Завершение вегетации у разных видов в связи с газовыми ожогами произошло в различные сроки (табл. 17). В качестве контрольного участка взят дендрарий, находящийся вне задымления. Оказалось, что преждевременный листопад наблюдался у большинства видов, за исключением лишь высокогазоустойчивых — дерена белого, чубушника венечного и розы морщинистой. К ним приближаются клен остролистный, тополь бальзамический, сирень обыкновенная, жимолость татарская, барбарис обыкновенный и снежноягодник кистистый. У последних четырех видов наблюдения велись за облиственными порослевыми побегами, возникшими в 1962 г. Остальные виды лишились листьев раньше обычного на значительное время — до месяца (у ясеня, липы, рябины). Но отмирания безлистных побегов у всех изучаемых видов нет.

Из всего вышесказанного видно, что условия задымления каждой из трех зон позволяют успешно произрастать лишь некоторым видам деревьев и кустарников. Их приспособляемость к задымлению базируется на различных свойствах: 1 — в зоне постоянного задымления нефтяными газами — на устойчивом протекании процессов роста и формирования побегов текущего прироста; отсутствие подобного свойства у вяза перистоветвистого, березы пушистой, ясеня зеленого и клена ясенелистного определяет их исключение из ассортимента используемых для озеленения видов; 2 — в зоне периодического слабого — среднего задымления с преобладанием двуокиси серы — на газочувствительности листьев; значительные газовые ожоги хвои лиственницы Сукачева, пихты сибирской, ели сибирской, листьев кизильника блестящего липы мелколистной, рябины обыкновенной, черемухи обыкновенной, желтой акации определяют их исключение из ассортимента используемых для озеленения видов; 3 — в зоне эпизодического сильного задымления с преобладанием сернистого ангидрида — на способности к повторному облиствению и степени газочувствительности; сильная повреждаемость листьев и слабая выраженность или отсутствие способности к повторному облиствению определяют исключение из ассортимента используемых для озеленения видов вяза гладкого, сирени обыкновенной, жимолости татарской, барбариса обыкновенного и снежноягодника кистистого.

### **О газопоглощительной способности листьев древесных растений**

Для создания санитарно-защитных лесных полос необходимы газоустойчивые виды деревьев и кустарников, обладающие высокой газопоглощительной способностью. На территории нефтеперерабатывающего завода и в его окрестностях в различных зонах задымления нами было

определено содержание серы в листьях различных видов по методу, описанному А.П. Грошевым (1958), с некоторыми дополнениями. Полное озоление листьев и перевод содержащейся в них серы в ионное состояние осуществлялось кипячением в концентрированной азотной кислоте; для осаждения использовался 10%-ный водный раствор  $\text{BaCl}_2$ . Навеска листьев 2-3 г., повторность трехкратная. Для определения количества серы, накопившейся в листьях в результате поглощения из воздуха газообразных сернистых соединений, из общего количества серы вычиталась та ее часть, которая поступила из почвы. Последнее устанавливалось на контрольных растениях, растущих вне задымления.

Исследования выполнены в трех основных зонах задымления, одна из которых находится на территории НПЗ и названа зоной сильной постоянной загазованности, другая - за пределами НПЗ со сниженным уровнем загазованности и третья зона, названная зоной слабой периодической загазованности, расположена в нескольких километрах от НПЗ и характеризуется не только более низким, но и непостоянным уровнем загазованности (Кулагин, 1970). Соответствующая краткая характеристика загазованности воздуха по зонам дана в табл. 18.

В различных условиях задымления накопление серы в результате поглощения газообразных сернистых соединений у разных видов заметно варьирует (табл. 19). В зоне сильной постоянной загазованности более всего накапливается серы в листьях тополя бальзамического, менее всего - у вяза гладкого, черемухи обыкновенной и клена ясенелистного. В зоне умеренной постоянной загазованности тополь ведущее место уступает липе мелколистной, сближаясь с ясенем, сиренью и жимолостью. В зоне слабой периодической (т.е. ежегодно 3-5 раз в течение вегетации) загазованности сохраняется постоянным видовой состав двух групп: 1 - сильно поглощающих и накапливающих в листьях серу (тополь, ясень, сирень, жимолость и липа) и 2 - слабо накапливающих (вяз, черемуха, клен).

Таблица 18

Концентрация (в  $\text{мг/м}^3$ ) различных газообразных соединений в атмосферном воздухе окрестностей нефтеперерабатывающих заводов в период 1962-1965 гг.

Соединение	Зона сильной постоянной загазованности (территория НПЗ)	Зона умеренной постоянной загазованности	Зона слабой периодической загазованности
Углеводороды (предельные и непредельные)	100-2100	1,1-28,2	1,1-19,0
Оксид углерода	20-30	2,5-41,3	5,1-25,3
Двуокись серы	6-9	0,054-0,23	0,004-0,16
Сероводород	0,09-0,4	0,002-0,06	0,005-0,019

Таблица 19

Накопление серы (в г на 1 кг сухого вещества)  
в листьях различных видов деревьев и кустарников в результате  
ее поглощения из атмосферного воздуха  
в разных зонах загазованности в течение вегетационного  
периода 1965 г.

В и д	Зоны загазованности		
	сильной постоянной	умеренной постоянной	слабой перио- дической
Тополь			
бальзамический	9,8	2,3	1,0
Ясень зеленый	5,5	2,2	1,1
Сирень обыкновен- ная	5,4	2,2	1,1
Жимолость татарская	4,3	2,0	0,8
Липа мелколистная	4,0	2,8	1,1
Вяз гладкий	2,9	1,0	0,3
Черемуха обыкновенная	2,2	0,7	0,3
Клен ясенелистный	2,1	1,0	0,2

Таблица 20

Накопление серы (в г на 1 кг сухого вещества)  
в листьях различных видов деревьев и кустарников  
в зоне умеренной постоянной загазованности в течение  
вегетационного периода 1964 г.

В и д	Накопление серы в результате поглощения	
	из почвы	из воздуха
Ясень зеленый	4,8	6,2
Жимолость татарская	4,1	5,5
Тополь бальзамический	3,8	6,7
Акация желтая	3,0	5,6
Липа мелколистная	2,9	3,1
Вяз гладкий	2,6	5,3
Береза пушистая	2,1	4,7
Чубушник венечный	1,6	3,3

Таблица 21

Накопление серы (в граммах на 1 кг сухого вещества) в листьях различных видов деревьев и кустарников в зоне умеренной постоянной загазованности в течение вегетационного периода 1965 г.

В и д	Накопление серы в результате поглощения	
	из почвы	из воздуха
Тополь бальзамический	4,2	6,1
Дерен белый	2,8	7,4
Жимолость татарская	2,1	3,0
Клен остролистный	2,1	1,2
Ясень зеленый	2,0	3,4
Клен ясенелистный	1,9	1,4
Яблоня ранетка мелкоплодная	1,8	3,5
Акация белая	1,6	1,8
Береза пушистая	1,5	1,4
Рябина обыкновенная	1,4	2,2
Акация желтая	1,4	3,2
Кизильник блестящий	1,3	1,0
Роза морщинистая	1,2	1,3
Сирень обыкновенная	1,2	3,3
Чубушник вечнозеленый	1,1	1,1
Черемуха обыкновенная	1,1	1,1
Барбарис обыкновенный	1,1	1,9
Липа мелколистная	1,0	2,9
Вяз гладкий	0,9	1,5
Дуб черешчатый	0,9	2,2

В табл. 20 и 21 показаны различия в накоплении серы в листьях за счет поглощения ее из почвы и из воздуха. Существует определенная зависимость между способностью видов накапливать серу при почвенном минеральном питании и способностью извлекать сернистые соединения из воздуха. Величина концентрации серы в листьях, создаваемой в результате почвенного минерального питания, может быть полезной при выявлении видов с резко выраженной газопоглощающей способностью.

В раннелетний период (12 июня), когда только что закончился рост листовой пластинки, концентрация серы вне задымления (табл. 22) у исследованных видов колеблется в пределах 0,08–0,18% (в пересчете на сухое вещество). К концу августа концентрация серы в этих условиях возросла в 1,6–3 раза: более всего у ясеня зеленого, менее всего у липы мелколистной. В условиях задымления (табл. 23)

молодые формирующиеся листья накапливают значительное количество серы; к концу вегетации оно заметно возрастает. При этом сказывается (табл. 24), что степень этого увеличения наиболее высокая у желтой акации, липы мелколистной, вяза гладкого и ясеня зеленого, т.е. у видов, обладающих газочувствительными листьями. И, наоборот, виды со слабо повреждаемыми листьями, особенно тополь бальзамический и чубушник венечный, увеличивают концентрацию серы в наименьшей степени. Иначе говоря, листья этой второй группы видов накапливают основное количество серы в раннелетний период, во время роста и формирования листьев.

Если принять общий вес листьев в кроне дерева равным 10 кг (в пересчете на сухое вещество), а кустарника — 3 кг, то изученные нами виды за вегетационный период (май — сентябрь) поглощают из воздуха следующее количество двуокиси серы: тополь бальзамический — до 180 г, ясень зеленый — 140 г, вяз гладкий — 120 г, липа мелколистная — 100 г, береза пушистая — 90 г, клен ясенелистный — 30 г, клен остролистный — 20 г, дерен белый — 45 г, сирень обыкновенная — 20 г, желтая акация — 18 г, жимолость татарская — 17 г, барбарис обыкновенный — 12 г, роза морщинистая — 8 г, чубушник венечный — 6 г. Таким образом, различия в газопоглощительной способности у разных видов весьма значительны и игнорировать их при создании санитарно-защитных лесополос нельзя.

Необходимо особо отметить, что такие высокоустойчивые к двуокиси серы виды, как клен ясенелистный, клен остролистный, роза морщинистая и чубушник венечный, характеризуются низкой газопоглощительной способностью. Поэтому их использование целесообразно лишь в посадках, принимающих на себя удары сильно концентрированных газовых потоков.

Лесная полоса газопоглощительного назначения должна обладать максимально выраженной способностью задерживать и поглощать токсичные газообразные соединения, существенно не снижая при этом рост и долговечность. По отношению к сернистому ангидриду такой способностью обладают тополь бальзамический и дерен белый. Для лесостепного Предуралья эти виды вполне пригодны, поскольку характеризуются достаточной зимостойкостью и засухоустойчивостью.

Если тополь бальзамический характеризуется быстрым ростом, то дерен белый обладает весьма ценным для подлесочной породы свойством — теневыносливостью. Именно поэтому из них вполне возможно создавать двухъярусные лесополосы. В связи с газопоглощительным назначением структура лесополосы с фронтальной стороны не должна препятствовать проникновению газовых потоков, а тыловая сторона, напротив, должна их задерживать. Это может быть достигнуто следующим образом. В семирядной полосе с расстоянием между рядами 3 м густота первых четырех рядов уменьшается путем установления расстояния между растениями в рядах в 2,5 м. В последующих же трех рядах густота увеличивается сближением растений (расстояние 1,5 м). Опушечные ряды целесообразно создавать из кустарника для защиты лесополосы от лугово-степных травянистых растений. Дополнительный кустарниковый

Таблица 22

Содержание серы  
(в % от сухого веса)  
в листьях различных видов  
деревьев и кустарников  
в начале и конце вегетации  
1964 г. вне задымления

В и д	12 июня		20 августа	
	начало	конец	начало	конец
Тополь бальзамический	0,19	0,36	0,19	0,36
Липа мелколистная	0,18	0,29	0,18	0,29
Жимолость татарская	0,17	0,41	0,17	0,41
Ясень зеленый	0,16	0,48	0,16	0,48
Акация желтая	0,14	0,30	0,14	0,30
Береза пушистая	0,12	0,21	0,12	0,21
Вяз гладкий	0,11	0,26	0,11	0,26
Чубушник венечный	0,08	0,16	0,08	0,16

Таблица 23

Содержание серы  
(в % от сухого веса)  
в листьях различных видов  
деревьев и кустарников  
в начале и конце вегетации  
1964 г. в зоне умеренной постоянной  
загазованности

В и д	12 июня		20 августа	
	начало	конец	начало	конец
Тополь бальзамический	0,45	1,03	0,45	1,03
Жимолость татарская	0,27	0,96	0,27	0,96
Береза пушистая	0,25	0,68	0,25	0,68
Ясень зеленый	0,24	1,10	0,24	1,10
Липа мелколистная	0,21	0,60	0,21	0,60
Чубушник венечный	0,19	0,49	0,19	0,49
Акация желтая	0,18	0,86	0,18	0,86
Вяз гладкий	0,17	0,79	0,17	0,79

Таблица 24

Темпы накопления серы в листьях различных видов деревьев и кустарников  
в течение вегетационного периода 1964 г. в результате ее поглощения из почвы  
(вне задымления) и из воздуха в зоне умеренной постоянной загазованности

В и д	Во сколько раз увеличилось количество серы, поглощенной		В и д	Во сколько раз увеличилось количество серы, поглощенной	
	из почвы	из воздуха		из почвы	из воздуха
Ясень зеленый	3,0	7,7	Чубушник венечный	2,0	3,0
Вяз гладкий	2,3	8,8	Тополь бальзамический	1,8	2,5
Жимолость татарская	2,2	5,5	Береза пушистая	1,7	3,6
Акация желтая	2,1	14,0	Липа мелколистная	1,6	10,3

ряд следует разместить между четвертым и шестым тополевыми рядами, что обеспечит необходимую плотность тыловой части лесополосы. Для усиления газопоглотительной функции целесообразно создание системы из 2-3 лесополос с расстоянием между ними 7 м, причем первой, фронтальной, полосе можно придать ажурный (продуваемый), а последней - плотный (непродуваемый) характер (Кулагин, 1968).

## Выводы

1. В условиях лесостепного Предуралья на территории и в окрестностях промышленных нефтеперерабатывающих комплексов газоустойчивость деревьев и кустарников носит своеобразный характер. Токсичность нефтяных газов, представляющих сложную газовую смесь с преобладанием углеводородов, проявляется не столько в прямых ожогах, сколько в угнетении и нарушении нормального роста и формирования побегов, сопровождающихся деформацией и измельчением листьев и одревеснением побегов. Подобное поражение происходит только в период роста и формирования облиственных побегов. Вследствие этих причин происходит ослабление и постепенное отмирание посадок вяза перистоветвистого, березы пушистой, ясеня зеленого и клена ясенелистного. Большинство же видов заметного угнетения от нефтяных газов не испытывает.

2. В сфере воздействия дымовых потоков с преобладанием в них двуокси серы газоустойчивость деревьев и кустарников определяется прежде всего газочувствительностью листьев. Особо высокую устойчивость при этом проявляют чубушник венечный, роза морщинистая, дерен белый и весьма низкую – лиственница Сукачева, пихта сибирская, кизильник блестящий. При интенсивных эпизодических газовых воздействиях, приурочиваемых вследствие бурной циклонической деятельности в Предуралье к раннелетнему периоду, существенное значение в газоустойчивости приобретает способность побегов к повторному облиствению. При этом наименьшую устойчивость проявляют сирень обыкновенная, жимолость татарская, барбарис обыкновенный и снежноягодник кистистый и наибольшую – клен остролистный и тополь бальзамический.

3. Выявлены виды, сочетающие высокую газоустойчивость с ярко выраженной способностью к накоплению в листьях сернистых соединений; это тополь бальзамический и дерен белый. Установлено, что с усилением загазованности воздуха возрастает уровень газопоглощительной способности. По мере снижения загазованности способность к заметному накоплению сернистых соединений в листьях наряду с тополем и дереном проявляют липа мелколистная, вяз гладкий, ясень зеленый, жимолость татарская, сирень обыкновенная.

## ДВУОКИСЬ СЕРЫ И ЛЕСООБРАЗУЮЩИЕ ВИДЫ

### Состояние и динамика лесов

Для изучения влияния двуокиси серы, содержащейся в атмосфере на древесную растительность были проведены опыты в районе медеплавильного завода.

Район медеплавильного завода расположен в восточных предгорьях Южного Урала, в пределах подзоны сосново-березовых лесов лесной зоны Урала (Колесников, 1961). Характерной зонально-географической особенностью этого района является его положение на востоке лесной зоны, близ ее границы с лесостепным Зауральем. Суровые зимы и пониженное количество летних осадков при горном характере рельефа и маломощности и сильной щебневатости почв обуславливают резкое сокращение количества лесообразующих видов. В качестве лесообразователей на горных склонах выступают главным образом сосна обыкновенная и береза бородавчатая.

Медеплавильный завод, один из крупнейших на Урале заводов этого типа, использует в качестве сырья медный колчедан, являющийся сульфидным минералом. Однако некомплексное использование медных руд является причиной сильного загрязнения атмосферного воздуха токсичной двуокисью серы.

Как известно (Шахов, 1932), рудное сырье подвергается плавке в шахтных печах при температуре 1300–1500°. При этом происходит окисление серы с образованием сернистого и частично серного ангидрида, которые и выбрасываются вместе с отходящими газами в атмосферный воздух. В процессе плавки медь с примесью других металлов концентрируется в так называемом штейне, или черной меди, где содержание серы достигает 25%. Для освобождения меди от серы расплавленный штейн заливается в конверторы, где продувкой воздуха достигается окисление серы до сернистого ангидрида, который и удаляется через трубы. Ю.В.Иваницкий (1961), анализируя состояние дымоулавливания на медеплавильном заводе, сообщает, что проектом перспективного плана развития предусматривается система полной очистки всех отходящих газов с переработкой уловленных пылей и использованием сернистого газа для производства серной кислоты. Это значительно повысит степень комплексного использования серы, а также улучшит санитарно-гигиенические условия прилегающей местности.

В окрестностях завода вследствие сильного задымления и неизбежных вырубок полностью обезлесена часть площади; достаточно большие массивы ценных горных лиственничных и сосновых лесов сменялись березняками. Почти полностью безлесный горный хребет "Золотая гора" подвергся сильнейшей водной эрозии. Почвенный покров оказался полностью смытым, в связи с чем на дневную поверхность вышли горные породы. В нижней части склонов и по подошве горного хреб-

та происходят размыв толщ делювия, интенсивное оврагообразование. Основная масса мелкоземистого материала выносится тальными и дождевыми водами в долину р. Миасс и откладывается в оз. Аргази.

В научной литературе совершенно нет никаких сведений о состоянии лесной растительности интересующего нас района в связи с воздействием дымовых отходов медеплавильного завода. При выяснении поставленных вопросов могут быть полезными лишь исследования В.В.Шаблюковского и Н.П.Красинского (1950) на Среднем Урале вблизи одного из медеплавильных заводов, а также М.В.Булгакова (1958, 1961).

На основе данных по истории интересующего нас медеплавильного завода (Шахов, 1932; Глушков, Долбилин, Венгеров, Тимашев, 1948; Иваницкий, 1961) и материалов лесоустройства примыкающих к заводу территорий лесхоза динамика лесной растительности в связи с возникновением и развитием медеплавильного завода может быть представлена в следующем виде.

Вначале осуществляется массовая вырубка лиственничных и сосновых древостоев на горном хребте "Золотая гора" на нужды рудников и строящегося у основания его западного склона медеплавильного завода; с постепенным наращиванием его мощности усиливается загрязнение атмосферного воздуха двуокисью серы. Осуществляется выборочная рубка в окрестностях завода поврежденных и усыхающих древостоев сосны. Полностью обезлесенный горный хребет оказался в зоне постоянного задымления в связи с его расположением к востоку от завода и преобладанием ветров западных румбов. Это задымление полностью приостановило семенное возобновление древесных пород. Одновременно началось интенсивная водная эрозия почвенного покрова на склонах и возникновение сухих каменистых россыпей, весьма трудных для естественного облесения.

В дальнейшем произведено резкое повышение мощности завода. Загрязнение атмосферного воздуха настолько сильно, что возникла экономически целесообразная необходимость установки специальных электрофильтров для улавливания весьма ценной свинцово-цинково-медной пыли (Иваницкий, 1961). Под влиянием резко возросших количеств двуокиси серы началось широкое распространение газовых повреждений и усыхание сосняков, занимающих горные хребты и сопки; началась их массовая рубка. В результате разрушающего воздействия трелевки вырубаемой древесины и водной эрозии горные склоны почти полностью лишились почвенного покрова (Кулагин, 1961б). Но одновременно на вырубках произошло массовое поселение березы бородавчатой. Именно эти березняки и слагают в настоящее время лесную растительность вокруг завода; лишь небольшими участками сохранились постепенно усыхающие сосняки.

Для более детального ознакомления с состоянием и динамикой лесной растительности рассмотрим полученный нами фактический материал.

На основе систематических наблюдений в окрестностях медеплавильного завода мы выделяем три основные зоны задымления (табл. 25).

Для объяснения факта строгой приуроченности интенсивных газовых воздействий к середине вегетационного периода необходимо проанализировать некоторые особенности климата на Урале.

Таблица 25

Характеристика основных зон задымления  
в окрестностях медеплавильного завода

Показатель	Зона задымления		
	постоянного	периодического	эпизодического
Протяженность зоны	К северо-востоку, востоку и юго-востоку на 1-2,5 км от завода	К северу, западу и югу до 3 км и к востоку от 2 до 5 км от завода	К северу, западу и югу далее 3 км и к востоку от 5 до 7-8 км от завода
Особенности задымления	От 7-8 до 15-20 сильных (20-30 мг/л/час) газовых воздействий в течение всей вегетации и ежегодно	1-2 сильных газовых воздействия в среднелетний период вегетации и ежегодно	1-2 сильных газовых воздействий в среднелетний период вегетации и не ежегодно (1 раз в 5-10 лет)
Лесная растительность	Лесная растительность отсутствует	Березняки	Березняки и сосняки

К.В.Кувшинова и Я.И.Фельдман (1960) отмечают для Южного Урала, что в июле в отличие от всех остальных месяцев вегетационного периода преобладают дни с циклоническим типом погоды над днями с антициклонами. По многолетним данным (1934-1948 гг.), в июле насчитывается 18 дней с циклонами, тогда как в мае, июне, августе и сентябре их количество равно 10-14. По данным метеостанции "Миассово" Ильменского заповедника (Жариков, 1959), видно, что в июле выпадает 31,1% от всего количества осадков, выпадающих в течение вегетации (май-сентябрь). В другие летние месяцы выпадает всего 15-19% от общего количества осадков. Небезынтересно также отметить, что именно в июле наиболее часто наблюдаются непрерывные дожди продолжительностью 10-20 суток. Так, за 28-летний период таких случаев в мае вообще не было, в июне - 2, в июле - 4, в августе - 2 и в сентябре - 1. На июль приходится наибольшее количество случаев максимальных суточных осадков. Так, в течение 28-летнего периода наиболее сильные дожди приходились на июль 13 раз, тогда как на май, июнь, август и сентябрь - всего 2-4 раза. Все это свидетельствует о том, что именно в июле наиболее часто создаются условия "прижимания" газовых потоков в приземные слои воздуха, поскольку в период сильных дождей давление воздуха часто снижается до 940-950 миллибар, тогда как обычно оно колеблется в пределах 970-980 миллибар. В научной литературе неоднократно отмечалось, что с повышением влаж-

ности воздуха происходит возрастание концентрации промышленных ды-  
мовых отходов в воздухе (Гольдберг, 1949), и особенно во время ту-  
манов (Кузьмин, 1950; Рязанов, 1957; и др.).

Ознакомимся на примере наиболее распространенных типов леса с  
состоянием и динамикой лесной растительности в связи с задымлени-  
ем. К таким типам леса могут быть отнесены лиственничник остеп-  
ненный, сосняк брусничный, сосняк бруснично-черничный и сосняк ши-  
рокоотравный. Ниже излагаются основные результаты изучения этих  
типов леса и возникших на их вырубках производных типов леса в раз-  
личных зонах задымления (табл. 26, 27 и 28). Для установления типа  
леса проводилось геоботаническое описание трех-семи участков (Сука-  
чев, 1931); один из них в дальнейшем использовался в качестве проб-  
ной площади размером 0,25-0,4 га. Результаты более подробного изу-  
чения состояния древостоя и семенного возобновления представлены в  
табл. 32-38.

Для характеристики состояния древостоя на пробных площадях про-  
водился пересчет деревьев с выделением следующих их категорий: 1 -  
здоровые, совершенно не имеющие каких-либо повреждений; 2 - слабо  
поврежденные, имеющие в кроне до 10% сухих ветвей; 3 - средне по-  
врежденные, имеющие в кроне до 50% сухих ветвей; 4 - сильно повре-  
жденные, имеющие в кроне до 80% сухих ветвей; 5 - очень сильно  
поврежденные, у которых в отличие от предыдущей категории дополни-  
тельно отмечается еще и усыхание верхушки кроны; 6 - сухостволь-  
ные, но благодаря здоровой корневой системе и наличию комлевых поч-  
ек восстанавливающиеся за счет порослевых побегов (береза); 7 -  
полностью погибшие деревья. Характеристика древостоев в целом дана  
путем процентного распределения обследованных деревьев различного  
состояния.

На состояние древостоев березы бородавчатой к востоку от завода  
прежде всего обращает на себя внимание факт улучшения березняков  
по мере удаления от завода, что легко объясняется вполне естествен-  
ным снижением интенсивности газовых воздействий. Высокая поврежда-  
емость отмечается на пр. площ. 1 и 2, расположенных на пути газовых  
потоков, переваливающих через горный хребет. Наибольшая повреждае-  
мость однако наблюдается в наиболее пониженном типе леса - в берез-  
няке разнотравно-вейниковом, расположенном по днищу долины (пр.  
площ. 4). В близ расположенных по более высоким элементам рельефа  
березняках (пр. площ. 6, 7, 31) состояние древостоя заметно улучша-  
ется. Если сопоставить между собой более удаленные участки берез-  
няков, то оказывается, что наибольшему поражению подвергается более  
пониженный из них (пр. площ. № 9). Находящиеся же в верхней (пр.  
площ. № 8) и средней (пр. площ. № 10) частях склона березняки  
характеризуются заметно лучшим состоянием.

Чем же можно объяснить факт большего повреждения березняков,  
приуроченных к пониженным элементам рельефа? Очевидно, более ин-  
тенсивными газовыми воздействиями в связи со скоплением и застави-  
ванием в них газовых масс. В литературе отмечается целый ряд подоб-  
ных явлений. Так, например, И.Р.Илюшин (1953) отмечал скопление

Таблица 26

Краткая характеристика обследованных типов леса,  
расположенных к востоку от завода

Тип леса, № пробной площади, расстояние от завода	Рельеф, экспозиция и крутизна склона	Особенности эрозии почвы	Древостой
Березняк вейни- ковый, № 1; 1,5 км	Средняя часть склона, Вост. 15°	Эрозии нет	10 Б.б.; 0,4; А-20-25 лет; Н-2,5-3,5 м; Д-3-4 см
Березняк каменис- тый мертвопокров- ный, № 2; 1,7 км	Средняя часть склона, Сев. 22°	Обнажен горизонт С	10 Б.б.; 0,2; А-20-25 лет; Н-2-3 м; Д-2,5-5 см
Березняк разно- травно-вейнико- вый, № 4; 2,6 км	Днище долины	Эрозии нет	10 Б.б.; 0,6; А-20(40) лет; Н-7(16) м; Д-5(18) см
Березняк вейни- ковый, № 31; 2,8 км	Нижняя часть склона, Зап. 7°	Эрозии нет	10 Б.б.; 0,6; А-20-30 лет; Н-6-9 м; Д-6-11 см
Березняк мертво- покровный, № 6; 2,9 км	Средняя часть склона, Зап. 14°	Обнажен горизонт А <sub>2</sub>	10 Б.б.; 0,7; А-20-25 лет; Н-5-7 м; Д-4,5-8 см
Березняк ос- тепненный, № 7; 3 км	Верхняя часть склона, Зап. 24°	Эрозией зат- ронута незна- чительная (менее 5%) площадь	10 Б.б.; 0,3; А-20-25(40) лет; Н-5(20) м; Д-6(12) см
Березняк брус- нично-вейниковый, № 8; 3,2 км	Верхняя часть склона, Вост. 23°	Эрозии нет	10 Б.б.; 0,8; А-15-18 лет; Н-3,5-6 м; Д-3-8 см
Березняк брус- нично-чернично- вейниковый, № 9; 3,6 км	Подошва склона, Вост. 3°	Эрозии нет	10 Б.б.; 0,7; А-20-25 лет; Н-5-8 см; Д-4-6 см

Таблица 26 (окончание)

Тип леса, № пробной площади, расстояние от завода	Рельеф, экспозиция и крутизна склона	Особенности эрозии почвы	Древостой
Березняк бруснично-вейниковый, № 10; 4 км	Средняя часть склона, Зап. 12°	Эрозии нет	10 Б.6; 0,7 А-15-20 лет Н-4-7 м; Д-3,5-8 см
Березняк бруснично-чернично-вейниковый, № 11; 5 км	Нижняя часть склона, Вост. 18°	Эрозии нет	10 Б.6; 0,8; А-20-25 лет Н-6-9 м; Д-5-9 см

Таблица 27

Краткая характеристика обследованных типов леса,  
расположенных к западу от завода

Тип леса, № пробной площади, расстояние от завода	Рельеф, экспозиция и крутизна склона	Особенности эрозии почвы	Древостой
Березняк каменистый мертвопокровный, № 13; 0,4 км	Верхняя часть склона, Ю.-В. 15°	Обнажен гор. В	10 Б.6; 0,3; А-15-20 лет; Н-1,5-3 м; Д-2,5-5 см
Березняк каменистый мертвопокровный, № 15; 0,5 км	Вершина хребта	Обнажен гор. В	10 Б.6; 0,5; А-15-20 лет; Н-2-3 м; Д-2-4 см
Березняк каменистый мертвопокровный, № 14; 0,5 км	Верхняя часть склона, Сев. 15°	Обнажен гор. В	10 Б.6; 0,6; А-20-25 лет; Н-3-5 м; Д-3-6 см
Березняк каменистый мертвопокровный, № 32; 0,6 км	Средняя часть склона, Зап. 24°	Обнажен гор. ВС	10 Б.6; 0,7; А-20-25 лет; Н-4-7 м; Д-4-9 см

Таблица 27 (окончание)

Тип леса, № пробной площади, расстояние от завода	Рельеф, экспозиция и крутизна склона	Особенности эрозии почвы	Древостой
Березняк бруснично-злаковый, № 16; 1,5 км	Средняя часть склона, Ю.-В. 10°	Эрозии нет	10 Б.б; 0,6; А-20-25 лет; Н-4,5-7 м; Д-4-6 см
Березняк каменистый редкотравный, № 17; 1,9 км	Вершина хребта	Эрозии нет	10 Б.б; 0,6; А-15-20 лет; Н-3-5 м; Д-3,5-6 см
Березняк бруснично-разнотравный, № 18; 2,2 км	Средняя часть склона, Зап. 7°	Эрозии нет	10 Б.б; 0,8; А-18-25 лет; Н-5-8 м; Д-4,5-8 см
Сосняк бруснично-вейниковый, № 19; 3 км	Средняя часть склона, Ю.-З. 6°	Эрозии нет	I ярус: 10С; 0,3; А-40-50 лет; Н-13(16) м; Д-22(30) см; 2 ярус: 10 Б.б; 0,5; А-18-25 лет; Н-5-7 м; Д-4-6 см
Березняк бруснично-вейниковый, № 22; 3,3 км	Верхняя часть склона, Зап. 7°	Эрозии нет	10 Б.б; 0,8; А-20-25 лет; Н-5-8 м; Д-4-8 см
Березняк бруснично-вейниковый, № 21; 3,2 км	Верхняя часть склона, Сев. 8°	Эрозии нет	10 Б.б; 0,7; А-17(40) лет; Н-4,5(12) м; Д-4(12) см
Сосняк бруснично-вейниковый, № 20; 3,5 км	Средняя часть склона, Зап. 14°	Эрозии нет	I ярус: 10С; 0,6; А-70-90 лет; Н-16(20) м; Д-22(40) см; II ярус: 10 Б.б; 0,3; А-4,5-6 м; Д-4-7 см

Таблица 28

Краткая характеристика обследованных типов леса, расположенных к северу и югу от завода

Тип леса, № пробной площади, расстояние от завода	Рельеф, экспозиция и крутизна склона	Особенности эрозии почвы	Древостой
Сосно-березняк каменистый мертво- вопокровный, № 24; 0,5 км к северу	Южный склон сопки, 26°	Обнажен гор. В	I ярус: 10С; 0,2; А-70-90 лет; Н-13(18) м; Д-14(25) см; II ярус: 10Б.6; 0,4; А-20-25 лет; Н-3,5-5 м; Д-3-6 см
Сосно-березняк каменистый мертво- покровный, № 25; 0,6 км к северу	Зап. склон сопки, 19°	Обнажен гор. В	I ярус: 10С; 0,2; А-70-90 лет; Н-14(18) м; Д-11(30) см; II ярус: 10 Б.6; 0,4; А-20-26 лет; Н-5-7 м; Д-4,5-8 см
Сосно-березняк каменистый мертво- покровный, № 26; 0,7 км к северу	Сев. склон сопки, 24°	Обнажен гор. В	I ярус: 10С; 0,3; А-70-90 лет; Н-15(22) м; Д-25(35) см; II ярус: 10 Б.6; 0,5; А-20-25 лет; Н-4-5 м; Д-2,7-5 см
Сосно-березняк каменистый мертво- покровный, № 29; 2,8 км к югу	Сев. склон увала, 12°	Обнажен гор. В	I ярус: 10С; 0,1 А-80-90 лет; Н-18-20 м; Д-30-35 см; II ярус: 10 Б.6; 0,6; А-20-25 лет; Н-3,5-5 м; Д-4-6 см

Таблица 28 (окончание)

Тип леса, № пробной площади, расстояние от завода	Рельеф, экспозиция и крутизна склона	Особенности эрозии почвы	Древостой
Березняк камен- истый мертвопо- кровный, № 27; 2,8 км к югу	Вост. склон увала, 30°	Обнажен гор. ВС	10 Б.б; 0,6; А-20-30 лет; Н-3-6 м; Д-3,5-6 см
Сосно-березняк каменистый мертвопокровный, № 28; 3 км к югу	Южный склон увала, 16°	Обнажен гор. В	I ярус: 10С; 0,2; А-80-90 лет; Н-18-20 м; Д-26(38) см; II ярус: 10 Б.б; 0,5; А-25-30 лет; Н-4,5-8 м; Д-4-8 см

Примечание: В 4-й графе табл. 26-28 первая строка содержит характеристику состава древостоя, где "Б.б" - береза бородавчатая, "С" - сосна обыкновенная, а последующая цифра - величина сомкнутости крон яруса; ниже приведены данные о возрасте, высоте и диаметре стволов древостоя.

Газовых масс в понижениях на местности с дюнным рельефом. Т.Мюллер (Müller, 1962) на основании исследований в Швейцарии отмечает, что концентрация токсичных газов особенно сильно возрастает в котловинных и плохо продуваемых горных долинах при инверсиях и слабых ветрах. Ф.Лампадиус и Н.Эндерлейн (Lampadius, Enderlein, 1961) подчеркивают роль погодных условий и рельефа в усилении фитотоксичности промышленных дымовых отходов, отмечая, в частности, возникновение высококонцентрированных газовых масс при их натеке и скоплении в глубоких горных долинах Тюрингии.

К западу от завода березняки также подвержены воздействию газовых потоков (табл. 30). Наибольшее количество суховершинных берез наблюдается на обращенном к заводу склоне первого горного хребта (пр. площ. № 13). Заметно лучше состояние березняков, расположенных на вершине и по северному склону этого хребта (пр. площ. № 15 и № 14). На западном, наиболее защищенном от газовых воздействий, склоне (пр. площ. № 32) березовый древостой поврежден весьма слабо. В более же удаленных, но открытых газовым потокам березняках поврежденность древостоев возрастает. Весьма наглядно роль

Таблица 29

Состояние древостоев березы бородавчатой в различных типах леса, расположенных к востоку от медеплавильного завода

Тип леса, № пробной пло- щади, расстоя- ние от завода	Здоровые, %	Количество сухих ветвей в кроне, %			Сухо- вер- шин- ные, %	Сухостволь- ные, возоб- новление порослью, %	Полно- стью су- хие, %
		1-10	10-50	50-80			
Березняк брус- нично-вейнико- вый, № 1; 1,5 км	12,5	31,2	31,2	-	12,5	6,3	6,3
Березняк каме- нистый мертво- покровный, № 2; 1,7 км	20	40	20	-	20	-	-
Березняк злако- вый, № 3; 2,5 км	19,3	30	31	7,9	7,9	1	2,9
Березняк разно- травно-вейнико- вый, № 4; 2,6 км	21	20	11	18	11	3	17
Березняк вейни- ковый, № 31; 2,8 км	68	22	3	5	-	-	2
Березняк мертво- покровный, № 6; 2,9 км	1	7	79	7	-	-	6
Березняк степ- ненный, № 7; 3 км	63	29	7	-	1	-	-
Березняк брус- нично-чернично- вейниковый, № 9; 3,6 км	12	20	67	1	-	-	-
Березняк брус- нично-вейнико- вый, № 10; 4 км	58	22	20	-	-	-	-
Березняк брус- нично-чернично- вейниковый, № 11; 5 км	68	32	-	-	-	-	-

Таблица 30

Состояние древостоя березы бородавчатой в различных типах леса, расположенных к западу от медеплавильного завода

Тип леса, № пробной площади, расстояние от завода	Здоровые, %	Количество сухих ветвей в кроне, %			Суховершинные, %	Сухоствольные, возобновление порослью, %
		1-10	10-50	50-80		
Березняк каменистый мертвопокровный, № 13; 0,4 км	32,3	25,8	9,7	-	29	3,2
Березняк каменистый мертвопокровный, № 15; 0,5 км	10	51	35	4	-	-
Березняк каменистый мертвопокровный, № 14; 0,5 км	3	46	45	-	6	-
Березняк каменистый мертвопокровный, № 32; 0,6 км	74	24	2	-	-	-
Березняк бруснично-злаковый, № 16; 1,5 км	8	30	53	9	-	-
Березняк каменистый редкотравный, № 17; 1,9 км	1,9	17,6	62,9	12,9	-	-
Березняк бруснично-разнотравный, № 18; 2,2 км	20	32	45	3	-	-
Березняк бруснично-вейниковый, № 21; 3,2 км	20	20	4	2	51	3
Березняк бруснично-зайниковый, № 22; 3,3 км	13	50	27	1	7	-

Рельефа проявляется при сопоставлении двух березняков, один из которых (пр. площ. № 21) расположен на обращенном к заводу восточном склоне третьего горного хребта, а другой (пр. площ. № 22) — на противоположном, западном, склоне. Количество суховершинных берез в последнем случае резко сокращено (7%) по сравнению с первым (51%).

В наиболее отдаленных сохранившихся сосняках (табл. 31) состояние древостоя заметно лучше. Интересен факт большей поврежденности березы по сравнению с сосной на пр. площ. № 19. Его можно связать с меньшей высотой березы (5-7 м), произрастающей во втором ярусе, по сравнению с более высокой (13-16 м) сосной, слагающей первый

Таблица 31

Состояние древостоев березы бородавчатой и сосны обыкновенной в различных типах сосняков, расположенных к западу от завода

Тип леса, № пробной площади, расстояние от завода	Вид	Здо-ро-вые, %	Количество сухих ветвей в кроне, %			Суховершинные, %
			1-10	10-50	50-80	
Сосняк бруснично-вейниковый, № 19; 3 км	Береза	68	30	-	-	2
	Сосна	95	5	-	-	-
Сосняк бруснично-вейниковый, № 20; 3,5 км	Береза	93	6	-	-	1
	Сосна	96	4	-	-	-

ярус древостоя. Это обстоятельство и приводит к более сильному поражению березы вследствие распространения газовых потоков в более нижних слоях воздуха. С подобным явлением и в еще более яркой форме мы столкнемся при анализе результатов учета возобновления.

Интересно ознакомиться с состоянием не полностью вырубленных сосняков, находящихся в зоне периодического задымления в пределах 0,5-3 км к северу и югу от завода.

Сильная изреженность соснового древостоя привела к возникновению второго яруса из березы бородавчатой (см. табл. 28). Полная же вырубка сосны приводит к появлению чистых березняков (пр. площ. № 27). Среди сосен преобладают суховершинные и сильно поврежденные деревья, тогда как среди берез они составляют всего 2-7% (табл. 32). Почти полное отсутствие сухих сосен объясняется их быстрой вырубкой, так как эта группа пробных площадей находится в пределах города или в непосредственной близости к нему. Интересно отметить, что сосняки на обращенных к заводу склонах (пр. площ. № 24 и 25) повреждаются значительно сильнее, чем сосняки на противоположных склонах (пр. площ. № 26). Это обстоятельство еще раз указывает на необходимость обязательного учета особенностей рельефа как при объяснении различий в газовых повреждениях, так и при подборе участков с целью создания лесных культур. Древостой сосны на пробных площадях № 24, 25, 26, 28 и 29 за последние восемь лет полностью погибли и сменились на березняки. Но сосняки пробных площадей № 19 и 20, расположенных к западу от завода, изменений не претерпели.

Уместно напомнить о явной искусственности методических рекомендаций В.В.Тарчевского (1959) для Урала, который пишет, что все наблюдения необходимо проводить на точно фиксированных расстояниях от источника загрязнения (0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0 км) со строгой ориентировкой по странам света. Подобная рекомендация в опреде-

Тип леса, № пробной площади, расстояние от завода	Вид	Здоровые, %	Количество сухих ветвей в кроне, %			Суховершинные, %	Полностью сухие, %
			1-10	10-50	50-80		
К северу от завода							
Сосно-березняк каменистый мертвопокровный, № 24; 0,5 км	Береза	63	34	-	-	3	-
	Сосна	-	11,3	3,2	3,2	79,1	3,2
Сосно-березняк каменистый мертвопокровный, № 25; 0,6 км	Береза	40	60	-	-	-	-
	Сосна	-	25	-	-	75	-
Сосно-березняк каменистый мертвопокровный, № 26; 0,7 км	Береза	43	50	-	-	7	-
	Сосна	3	53	4	4	36	-
К югу от завода							
Сосно-березняк каменистый мертвопокровный, № 29; 2,8 км	Береза	34	48	16	2	-	-
	Сосна	-	20	14	16	30	20
Березняк каменистый мертвопокровный, № 27; 2,8 км	Береза	15	53	20	3	7	2
Сосно-березняк каменистый мертвопокровный, № 28; 3 км	Береза	33	47	18	-	2	-
	Сосна	-	26,9	16,4	10,4	29,9	16,4

ленной мере уместна для равнинной местности, но неприложима к горной местности, где наличие горных хребтов и долин сильно изменяет характер распространения газовых потоков, а пестрота растительного покрова делает невозможным привязывать пробные площади к указанным Тарчевским пунктам. Смысл подобной "строгой" рекомендации Тарчевский видит, вероятно, в унификации методики для получения в различных районах страны сравнимых между собой результатов исследований. Однако, по нашему мнению, целесообразно ориентировать исследователей на использование в горных районах более гибкой методики с целью выявления закономерностей распространения газовых потоков. Но, как показывают результаты исследований И.Р.Илюшина (1953), и в равнинной местности весьма важно делать упор не на подбор участков в строго фиксированных точках, а на исследование особенностей "фиторельефа". Илюшин, в частности, указал на глубокое проникновение токсичных газовых потоков по узким лесосекам как по своеобразным каналам в лесные массивы, что приводит к их более интенсивному повреждению и усыханию.

Для выяснения фактической эффективности семенного возобновления на пробных площадях закладывались 50 учетных площадок в 1 м<sup>2</sup> и 30 размером в 4 м<sup>2</sup>, причем на последних учитывался только крупный подрост высотой более 1 м. Для каждого экземпляра отмечались возраст, высота и состояние. По состоянию выделялись: а) здоровые, б) поврежденные газовыми потоками, но жизнеспособные и в) особи, усыхающие в результате сильных газовых повреждений. Пересчет возобновления сделан на 1 га.

Рассмотрим возобновление к востоку от завода, т.е. в направлении господствующих ветров и, следовательно, наиболее интенсивного задымления. Действительно, в пределах первого километра (на западном открытом дымовым воздействиям склоне горного хребта "Золотая гора") возобновление полностью отсутствует. На протяжении последующих 1,5 км (на восточном, слабее и реже задымляемом, склоне этого хребта) встречаются немногочисленные группы 5-20-летних березок, поселившихся в наиболее благоприятных по водному режиму местообитаниях: 1) в ложбинах и складках с сохранившейся от эрозии почвой на 0,5-1 м толще мелкоземистого делювия (пр. площ. № 1) и 2) в затененных (северных) крутых каменистых участках (пр. площ. № 2). Основная же часть этого склона представлена сухими каменистыми россыпями с редкими экземплярами горно-степных травянистых видов. Лишь в нижней части склона и по днищу долины с более благоприятным водным режимом почв начинается формирование березняков. В табл. 33 приведены данные, характеризующие семенное возобновление березы бородавчатой в различных типах березняков.

В пределах первой горной долины, начиная с березняка разнотравно-вейникового (днище долины, пр. площ. № 4) и кончая остепненным (верхняя треть горного склона, пр. площ. № 7), возобновление березы происходит относительно слабо. Обращает на себя внимание повышенное количество поврежденного и усыхающего подроста в нижерасположенных березняках по сравнению с березняками средней и верхней тре-

Таблица 33

Семенное возобновление (в штуках на 1 га) березы бородавчатой в различных типах леса, расположенных к востоку от медеплавильного завода

Тип леса, № пробной площади, состояние от завода	Состояние	Возрастные группы, годы			Всего
		1-5	6-10	11-15	
Березняк разновозрастно-вейниковый, № 4; 2,6 км	Здоровые	-	800	1680	2480
	Поврежденные	200	800	3570	4570
	Усыхающие	-	400	250	650
Березняк вейниковый, № 41; 2,8 км	Здоровые	-	-	1160	1160
	Поврежденные	-	-	5000	5000
	Усыхающие	-	-	410	410
Березняк мертвопокровный, № 6; 2,9 км	Здоровые	-	800	750	1550
	Поврежденные	800	-	170	970
	Усыхающие	-	-	-	-
Березняк остепненный, № 7; 3,0 км	Здоровые	-	-	2400	2400
	Поврежденные	-	-	4980	4980
	Усыхающие	-	-	-	-
Березняк бруснично-вейниковый, № 8; 3,2 км	Здоровые	12200	9000	11500	32700
	Поврежденные	3400	3600	5440	12440
	Усыхающие	-	-	-	-
Березняк бруснично-чернично-вейниковый, № 9; 3,6 км	Здоровые	1800	2000	2710	6510
	Поврежденные	-	3000	9220	12210
	Усыхающие	-	200	1430	1630
Березняк бруснично-вейниковый, № 10; 4,0 км	Здоровые	400	400	1160	1960
	Поврежденные	200	1400	10460	12060
	Усыхающие	-	200	-	200
Березняк бруснично-чернично-вейниковый, № 11; 5,0 км	Здоровые	4200	5400	3770	13370
	Поврежденные	600	2400	4440	7440
	Усыхающие	-	-	250	250

тей склона. Это обстоятельство связано с усилением губительного действия двуокиси серы в понижениях рельефа, где происходит накапливание газовых масс. Ознакомление с результатами учета возобновления в следующей горной долине (в пределах 3,2-4 км) также подтверждает вывод об ухудшении состояния березового подроста по мере понижения местоположения (ср. пр. площ. № 8 с пр. площ. № 9 и 10). Но, отме-

чая и здесь сходный характер в поражающем действии газовых потоков в зависимости от рельефа, следует указать на заметное ослабление их токсичности. Последнее выражается не только в увеличении доли здоровых березок, но и в сильно возрастающей численности малолетнего (1–5–10 лет) подроста.

Характерной особенностью возобновления в лесах, расположенных к востоку от завода, является отсутствие сосны. Лишь в березняке веиниковом (пр. площ. № 31), отдаленном от завода на 2,8 км, встречены единичные экземпляры сосны и ели сибирской в возрасте 5–10 лет с сильными газовыми ожогами и в угнетенном состоянии. Существенное отрицательное влияние безусловно оказывает и полное отсутствие поблизости семенников сосны в связи со сплошной вырубкой сосняков.

Иначе обстоит дело с возобновлением к западу от завода (табл. 34). Уже на вершине первого горного хребта, удаленного от завода на 0,5 км, в березняке каменистом мертвопокровном (пр. площ. № 15) отмечается встречаемость подроста березы бородавчатой. На более отдаленном, в 1,5 км, восточном склоне второго горного хребта, занятом березняком бруснично-злаковым (пр. площ. № 16), возобновление березы протекает более успешно. На вершине – в березняке каменистом редкотравном (проб. площ. № 17) и по западному склону этого хребта – в березняке бруснично-разнотравном (пр. площ. № 18) наряду с березой начинает появляться подрост сосны. Однако значительная часть сосенок повреждается газовыми потоками и усыхает. В более отдаленных (3–3,2 км) от медеплавильного завода участках, расположенных по подошве и по восточному склону третьего горного хребта, в сосняке бруснично-вейниковом (пр. площ. №№ 19 и 20) также весьма успешно продолжается возобновление березы и сосны. Но газовые потоки и здесь повреждают основную массу сосенок, причем часть их погибает. На западном склоне третьего горного хребта возобновление березы и особенно сосны идет более энергично. Отмечается хорошее состояние березового подроста. Эпизодическое, т.е. не ежегодное проникновение стелющихся на поверхности почвы газовых потоков продолжает и здесь повреждать и губить большое количество сосенок. Но в связи с тем, что газовые потоки распространяются лишь в приземных слоях воздуха, взрослый сосновый древостой газовых повреждений не имеет. Поэтому он продолжает нормально плодоносить и обеспечивает постоянное пополнение самосева сосны. Более успешное возобновление и появление соснового подроста в лесах, расположенных к западу от завода, объясняется более редкими ветрами восточных румбов, являющихся естественным распределителем газовых потоков.

Итак, в окрестностях медеплавильного завода облесение ближайших горных склонов весьма успешно осуществляется березой бородавчатой, а более удаленных и расположенных к западу сосной обыкновенной. Режим задымления оказывает сильное влияние на семенное возобновление березы и сосны, причем в условиях постоянного задымления оно полностью исключается (Кулагин, 1964). В условиях периодического (ежегодного) и эпизодического задымления достаточно успешно возобновляется береза, причем в последнем случае к березе присоединяется и

Таблица 34

Семенное возобновление (в штуках на 1 га) березы бородавчатой и сосны обыкновенной в различных типах леса, расположенных к западу от медеплавильного завода

Тип леса, № пробной площади, расстояние от завода	Вид	Состояние	Возрастные группы, годы			Всего
			1-5	6-10	11-15	
Березняк каменистый мертвопокровный, № 15; 0,5 км	Береза	Здоровые	-	-	830	830
		Поврежденные	-	-	9710	9710
		Усыхающие	-	-	410	410
Березняк бруснично-злаковый, № 16; 1,5 км	Береза	Здоровые	8600	1200	2140	11940
		Поврежденные	1600	3000	2830	7430
		Усыхающие	-	200	370	570
Березняк каменистый редкотравный, № 17; 1,9 км	Береза	Здоровые	3200	3000	900	7100
		Поврежденные	400	2600	4690	7690
		Усыхающие	-	-	670	670
	Сосна	Здоровые	-	200	-	200
		Поврежденные	200	400	-	600
		Усыхающие	-	400	400	800
Березняк бруснично-разнотравный, № 18; 2,2 км	Береза	Здоровые	3800	1600	2430	7830
		Поврежденные	200	1600	2420	4220
		Усыхающие	200	-	750	950
	Сосна	Здоровые	200	400	-	600
		Поврежденные	800	1570	1310	3680
		Усыхающие	450	1450	-	1900
Сосняк бруснично-вейниковый, № 19; 3,0 км	Береза	Здоровые	-	600	1410	2010
		Поврежденные	-	800	1800	2600
		Усыхающие	-	-	80	80
	Сосна	Здоровые	600	1200	80	1880
		Поврежденные	6000	1540	6990	14530
		Усыхающие	1800	7600	1160	10560
Березняк бруснично-вейниковый, № 21; 3,2 км	Береза	Здоровые	200	200	610	1010
		Поврежденные	200	1200	2950	4350
		Усыхающие	-	-	370	370
	Сосна	Здоровые	-	800	-	800
		Поврежденные	600	3800	1160	5560
		Усыхающие	-	2400	3470	5870
Березняк бруснично-вейниковый, № 22; 3,3 км	Береза	Здоровые	1000	800	480	2280
		Поврежденные	200	1800	2000	4000
		Усыхающие	-	-	-	-
	Сосна	Здоровые	-	400	-	400
		Поврежденные	400	4600	890	5890
		Усыхающие	-	3400	3820	7220
Сосняк бруснично-вейниковый, № 20; 3,5 км	Береза	Здоровые	6800	1400	2340	10540
		Поврежденные	1200	800	2080	4080
		Усыхающие	-	-	200	200
	Сосна	Здоровые	-	600	80	680
		Поврежденные	2800	3000	4070	9870
		Усыхающие	800	4200	1990	6990

сосна. Существенное препятствие для семенного возобновления этих видов представляет эрозия почвы, ее смыв с горных склонов и их иссушение. Прекращение или резкое уменьшение дымовых отходов медеплавильного завода позволит приблизить вплотную к городу горные сосняки в основном в результате содействия процессам естественного возобновления. Правильность подобного вывода убедительно подтверждается фактом хорошего состояния сосняков в непосредственной близости от одного из южноуральских металлургических заводов, где токсичность дымовых отходов при выплавке чугуна и стали незначительна. В атмосферный воздух ежедневно выбрасывается двуокиси серы в 470–820 раз меньше по сравнению с медеплавильным заводом.

Поэтому на расстоянии 200–300 м к югу от металлургического завода успешно произрастает сосняк разнотравно-вейниковый. Сосновый древостой представлен двумя возрастными поколениями: старшим (120–130 лет,  $H = 15$  м,  $D = 40$  см) и младшим (60–70 лет,  $H = 13$  м,  $D = 14$  см). Последнее поколение преобладает; на него приходится 80% от общего числа стволов. Около половины старых сосен суховершинит, тогда как 60–70-летние сосны имеют в кронах лишь единичные сухие ветви. Учитывая 200-летнее существование металлургического завода, приходится констатировать весьма примечательный факт высокой устойчивости сосны при задымлении. Низкий бонитет (IV–V) связан с малопродуктивной (25–30 см) и недостаточно благоприятной по влажности почвой, подстилаемой сильно выветрелыми карбонатными горными породами. В настоящее время наблюдается удовлетворительное плодоношение сосны. Учет самосева показал наличие на 1 га 50 320 экземпляров сосны в возрасте от 1 до 4 лет и почти полное отсутствие более взрослых сосенок. Причиной отмирания самосева сосны является густой разнотравно-вейниковый покров, не препятствующий массовому появлению всходов, но губящий их вследствие сильного затенения и задернения почвы. В этих условиях наблюдается сильное угнетение сосенок и крайне слабое развитие их корневой системы, не способной пробиться через толстый травянистый войлок и достигнуть минеральных слоев почвы. Подобное явление широко распространено в горных сосняках Урала и неоднократно отмечалось в научной литературе (Фильрозе, 1961; Санников, 1961; и др.). Поэтому минерализация почвы, уничтожение ее задернения исключительно благоприятно влияет на появление жизнеспособного энергично растущего соснового подростка.

Если в ближайшем будущем предусмотрено использование отходящего сернистого газа для производства серной кислоты (Иваницкий, 1961) и зараженность атмосферного воздуха снизится до уровня упомянутого металлургического завода, то возврат на прежние позиции хвойных лесов можно считать гарантированным. Трудности же естественного порядка в семенном возобновлении сосны относительно легко устранимы обычными лесоводственными мероприятиями. В настоящее время лесовосстановительные работы в задымляемых окрестностях медеплавильного завода необходимо ориентировать на содействие естественному семенному возобновлению березы бородавчатой, квалифицируя ее как главную древесную породу.

Итак, состояние лесной растительности в окрестностях медеплавильного завода находится в прямой зависимости от задымления. В зоне периодического задымления наблюдается интенсивное усыхание сосны, и в то же время в этих условиях древостои березы бородавчатой, несмотря на заметные газовые повреждения, характеризуются вполне удовлетворительным состоянием. В зоне эпизодического задымления состояние березняков и сосняков резко улучшается. Успешное произрастание в этих условиях взрослых сосновых древостоев объясняется распространением высококонцентрированных газовых потоков в приземных слоях воздуха, ниже их крон.

### О газоустойчивости сосны и березы

Вышеизложенные материалы о состоянии и возобновлении березняков и сосняков в условиях задымления не согласуются с выводами Шаблювского и Красинского о негазоустойчивости березы и сосны в условиях горно-лесной зоны Урала при воздействии дымовых отходов медеплавильного производства. Напомним их соответствующие высказывания по этому поводу, что из заводских труб выбрасываются огромные количества дымовых отходов, газовые потоки высокой концентрации распространяются на большое расстояние (до 5 км). Леса в зоне между Р-С-3 и В-Ю-В румбами протяженностью около 7 км при глубине до 5 км обречены на постепенное вымирание. При восстановлении их должны делаться посадки пород с учетом их газоустойчивости (ни сосну, ни березу сажать не следует) (Шаблювский, Красинский, 1950).

В научной литературе в отношении низкой газоустойчивости сосны и ее непригодности для задымляемых территорий имеется много высказываний (Князева, 1950; Ванифатов, 1959; Кротова, 1957, 1959; и др.). Однако полученный нами фактический материал свидетельствует о существовании у сосны определенной газоустойчивости, учет которой необходим в практике лесного хозяйства. Рассмотрим один весьма характерный пример. В 4 км к западу от медеплавильного завода по подошве склона и днищу горной долины были созданы культуры сосны. Впервые эти культуры были поражены высококонцентрированным газовым потоком в начале июля 1960 г., когда один их участок находился в возрасте 6 лет, а другой — 13 лет. Произведенные на следующий год обследования показали, что несмотря на значительные ожоги хвои пораженные сосны возобновили рост и дали нормально охвоенный прирост, приближающийся по размерам к приросту предыдущего года, сформировавшегося до момента газового поражения. Значительный интерес представляет дерево сосны, которое возобновило после перезимовки рост при наличии всего 5% однолетней и 23% двухлетней хвои. Особо следует указать на то, что это весьма небольшое количество хвои представлено не здоровыми хвоинками, а уцелевшими от газового поражения их нижними частями. Обследование дважды пораженных 14-летних культур сосны показало, что полностью погибших сосен сравнительно

но мало (6,1%) и они относятся в основном к низкорослой группе с высотой до 1,5–2 м. Этому соответствует также и факт повышенного количества (67–69%) в низкорослой группе сосен, не возобновивших прирост ствола в высоту, но не погибших и продолживших свой рост за счет боковых ветвей. Очевидно, не случаен также факт полного отсутствия в группе наиболее высоких, более 4 м, сосен как сухих, так и лишившихся возможности продолжить нормальный рост ствола в высоту экземпляров. Все эти данные объясняются тем, что поражение сосновых культур произошло сосредоточенным в приземных слоях воздуха сернистым газом. Интересно, что взрослые сосны (60–90 лет) с высоко прикрепленной кроной (5–9 м) вообще не подверглись газовому воздействию.

Интересно отметить, что потеря 50% хвои не препятствует проявлению весьма энергичного, более 30 см, прироста ствола в высоту. Но с повышением пораженности хвои до 80% количество деревьев с таким приростом заметно уменьшается. При пораженности охвоенной кроны более чем на 80% прирост их ствола в высоту резко сокращается, не превышая 10 см. Следовательно, мы убеждаемся в способности сосны восстанавливать жизнедеятельность после значительного поражения хвои. В литературе известны полученные экспериментальным путем факты более или менее нормального восстановления жизнедеятельности сосны после частичного удаления ее хвои (Фальковский, 1928; Marshall, T.Schantz–Hansen, Winsness, 1955; Терешин и Ячменева, 1962). Маршалл, Шанц–Хансен, Уинснесс на основе изучения сосны смолистой и веймутовой пришли к выводу о том, что однократное значительное повреждение крон (механическое удаление хвои в опытах) оказывается менее губительным, чем слабые ежегодно повторяющиеся повреждения. Значительный интерес представляют результаты опытов Ю.А.Терешина и З.Г.Ячменевой, проведенные на территории Ильменского заповедника с 14–16–летними соснами. Ими установлено, в частности, что удаление хвои в начале вегетации сильнее всего отражается на радиальном приросте древесины, слабее – на приросте ствола в высоту и менее всего на формировании новой хвои. Эти особенности имеют существенное положительное значение для быстрого восстановления нормальной жизнедеятельности сосен. Полное или почти полное (95–100%) поражение хвои в июле приводит к отмиранию всего дерева от иссушения. Это подтверждается как прямыми наблюдениями за поврежденными соснами в конце вегетации, так и результатами проведенного нами опыта. В апреле 1963 г., т.е. до начала вегетации, нами была полностью удалена хвоя с ветвей 6–15–летних сосен. В августе этого же года зафиксировано, что ни одна из этих обесхвоенных сосен (12 экземпляров) не погибла. Из почек на ветвях и главном стволе возникли новые охвоенные побеги. Правда, по сравнению с контрольными длина побегов оказалась сокращенной на 61,2%. Сохранение жизнеспособности этими соснами объясняется, с одной стороны, наличием жизнедеятельной корневой системы, и, с другой стороны, отсутствием в ранневесенний период резкого иссушающего воздействия со стороны атмосферного воздуха.

Итак, частичное, хотя и сильное среднелетнее газовое поражение сосновых культур не ведет к их отмиранию. Поэтому торопиться с их вырубкой не следует. Восстановление жизнедеятельности наблюдается даже после двукратных газовых воздействий. Это ценное свойство базируется на способности функционирования корневой системы при сильно сокращенном количестве хвои в кроне и уцелевших от омертвления нижних частей хвоинок. Последнее во многом обязано строгой локализации газовых ожогов на хвое в связи с тем, что двуокись серы является местным ядом, не вызывающим системных нарушений в других частях и органах растения.

В условиях периодического задымления, т.е. при ежегодных газовых поражениях, сосна неизбежно погибает, поскольку хвоя полностью в течение нескольких лет отмирает. Вполне понятно, что скорость отмирания зависит от интенсивности газовых атак. Известно, что ксероморфная хвоя сосны отличается заметно пониженной газочувствительностью (Красинский, 1950б; Князева, 1950). Но если имеют место раннелетние (май-июнь) газовые атаки, когда происходит рост и формирование ее побегов и хвои и когда их анатомическая газоустойчивость заметно понижена, то газоустойчивость сосны в целом оказывается резко сниженной. В этом отношении раннелетний период для сосны является критическим. Важно отметить, что достаточно всего одного газового воздействия, уничтожившего в кроне все побеги текущего прироста и более старую хвою, для полного отмирания всего соснового дерева.

Иначе обстоит дело с газоустойчивостью сосны в условиях постоянного слабого задымления.

А.П.Шенников (1950) в весьма общей форме характеризует причины пониженной газоустойчивости вечнозеленых хвойных древесных пород. Он пишет, что хвойные деревья менее выносливы, лиственные — более. Возможно, что большинство хвойных потому более чувствительно к сернистому ангидриду, что на их зимующие и многолетние листья дымовые газы влияют продолжительнее, чем на листопадные лиственные деревья. Листопадная лиственница чувствительна менее вечнозеленых хвойных.

Н.Г.Кротова (1959) установила, что отмирание хвои сосны начинается при достижении содержания серы в 0,3–0,5% (в пересчете на сухой вес), тогда как листья листопадных пород, в том числе и лиственница никаких внешних признаков повреждения не имеет при накоплении серы до 1%.

Объясняя факт отмирания листьев растений под воздействием низких концентраций сернистого ангидрида, Томас, Гендрикс и Хилл (Thomas, Hendricks, Hill, 1944) указывают на его накопление в клетках мезофилла в таких больших количествах, что наступает их сульфатное отравление. В.Крокер (1950) более точно характеризует эти причины, отмечая, что, по данным канадских исследователей, поступающий в листья в незначительных количествах сернистый ангидрид может окисляться до мало токсичных сульфатов. При этом содержание серы в листьях вечнозеленых растений может быть в 3–4 раза больше нормального. При повышенной концентрации сернистого ангидрида это превращение до

безвредных сульфатов осуществляется лишь частично, вследствие чего неокисленный сернистый ангидрид оказывает губительное воздействие на клетки мезофилла.

Н.Г.Кротова (1959) указывает, что у сосны продолжительность жизни хвои сокращается до 1-2 лет при постоянном содержании в воздухе сернистого ангидрида в пределах 0,07-0,04 мг/м<sup>3</sup>.

В.П.Тимофеев (1957) сообщает, что в пригородных и городских насаждениях Москвы наблюдается усыхание сосны и ели в связи с неполным охвоением их крон. Последнее обусловлено сокращением продолжительности жизни хвои, причем у сосны вместо трех лет хвоя живет всего один-два года, у ели вместо семи лет - один-три-четыре года. Тимофеев указывает на высокую устойчивость к задымлению лиственницы Сукачева, сибирской и европейской по сравнению с сосной и елью.

Следовательно, постоянное слабое задымление для вечнозеленых хвойных и, в частности, для сосны является губительным вследствие резкого сокращения продолжительности жизни хвои от постепенно накапливающихся в ней до летального уровня соединений серы, изреживания кроны, ослабления дерева в целом и наступающего затем отмирания, часто при участии дендрофильных энтомовредителей.

Проведенные нами исследования также показали, что содержание серы (в % от сухого веса) в хвое сосны обыкновенной определяется загрязнением атмосферного воздуха промышленными дымовыми отходами:

Возраст хвои	Отдаленность участков от завода		
	в 0,5 км к северу от завода	в 3 км к западу от завода	контроль
однолетняя	0,231	0,075	0,052
двулетняя	0,238	0,190	0,070

Вне задымления в хвое сосны содержится 0,05-0,07% серы, причем с возрастом ее количество несколько увеличивается. Это зависит, вероятно, от ее поглощения из почвы. Вблизи завода (в 0,5 км), в зоне периодического задымления у усыхающих сосен содержание серы в хвое возрастает до 0,23%. Интересен факт большого сходства в содержании серы между одно- и двулетней хвоей. Очевидно, основное количество серы накапливается в первый год жизни хвои и прежде всего в период ее роста и формирования. В зоне эпизодического задымления (в 3 км к западу от завода) хвоя сосны содержит серы значительно меньше. При этом двулетняя хвоя содержит серы в 2,5 раза больше по сравнению с однолетней хвоей. Это свидетельствует о том, что в слабые и реже задымляемых условиях процесс накопления серы не ограничивается первым годом жизни хвои, а "захватывает" и второй год.

Таким образом, при действии пониженных концентраций двуокиси серы, не способных вызвать ожоги хвои сосны, в ней происходит накопление серы. При содержании серы до 0,19% хвоя сосны сохраняет жизнеспособность до трех-четырех лет; повышение содержания серы

до 0,24% сопровождается сокращением продолжительности жизни хвои до двух лет. Быстрое, в пределах летних месяцев, накопление серы до 0,3% приводит к отмиранию хвои к концу первого или в начале второго года жизни. Соответствующее изреживание кроны ослабляет дерево, снижает его устойчивость к вторичным энтомофитам и в конечном счете приводит к полному отмиранию.

В оценке газоустойчивости березы мнения исследователей резко расходятся. Так, например, Шредер и Реусс (Schroeder, Reuss, 1883), Х.М.Исаченко (1938); Д.Н.Ванифатов (1959) считают березу негазоустойчивой древесной породой и совершенно не пригодной для озеленительных и лесовосстановительных работ на задымляемых территориях. Однако другие авторы демонстрируют иное отношение к березе. Так, И.Р.Илюшин (1953) рекомендует использовать ее в лесных культурах при создании заслона на пути распространения газовых потоков вместе с тополем канадским, ясенем зеленым, ильмом шершавым, жимолостью татарской. В.Г.Антипов (1955) в перечень рекомендуемых для озеленения территорий, задымляемых метаном, ацетоном, этиленом, уксусной кислотой (менее  $0,01 \text{ г/м}^3$ ), сернистым газом и хлором, включает вместе с осиной, тополем бальзамическим, ольхой серой березу бородавчатую и березу пушистую. Но для этих условий Антипов не рекомендует желтую акацию, черемуху обыкновенную, смородину черную, розу морщинистую и, следовательно, считает их газоустойчивость более низкой по сравнению с обоими видами березы. Каких-либо объяснений и доказательств по этому вопросу не дается.

И.П.Кунцевич и Т.Н.Турчинская (1957) квалифицируют березу бородавчатую и пушистую как среднеповреждаемые виды, объединяя их в одну группу вместе с барбарисом обыкновенным, дубом черешчатым, липой мелколистной, лиственницей сибирской, рябиной обыкновенной и осиной.

Н.Г.Кротова (1957, 1958, 1959) установила, что в условиях постоянного нахождения в воздухе малых (до  $0,3-0,4 \text{ мг/м}^3$ ) количеств сернистого газа сильно страдают и постепенно отмирают виды с многолетней хвоей (сосна, ель) и успешно произрастают листопадные виды, в том числе и береза бородавчатая.

Интересные наблюдения за устойчивостью березы к двуокиси серы проведены М.В.Булгаковым (1958, 1961). В работе, опубликованной в 1958 г., Булгаков указывает, что береза должна быть исключена из ассортимента древесных пород при озеленении г. Красноуральска с его медеплавильным заводом, так как ее листья легко поражаются даже при кратковременных газовых атаках и не восстанавливаются в течение летнего периода. В другой, позднее (1961) опубликованной статье, Булгаков в своих взглядах на березу приходит к прямо противоположным выводам. Оказалось, что выросшие на сильно кислых ( $\text{pH} = 3,5-3,6$ ) заводских твердых стоках березы характеризуются хорошим ростом и совершенно не имеют газовых ожогов. Булгаков объясняет отсутствие газовых ожогов у листьев березы предположением о необычно резко возросшей у нее газоустойчивости в связи с особенностями внешней среды, обусловленными близостью завода. Однако отмеченный

факт допускает другое, более правильное объяснение. Из текста статьи можно видеть, что отсутствие газовых ожогов на листьях березы связано с их защищенностью от газовых потоков, так как между участком возникшего березняка и заводом создано препятствие в виде железно-дорожной насыпи и отвалов заводских отходов. Булгаков рекомендует широко использовать березу в городских посадках. К сожалению, он не дает точного названия вида березы, в связи с чем сделанные им выводы приходится относить и к березе бородавчатой и к березе пушистой. В другой работе (Ионин, Колташева, 1961) оба вида березы рекомендуются для посадок в санитарно-защитных зонах близ предприятий, выбрасывающих в атмосферный воздух сернистый и серный ангидрид, аммиак, окись углерода, но при отсутствии фтора.

Необходимо заметить, что многие исследователи (Schroeder, Reuss, 1883; Красинский, 1937; Шаблювский и Красинский, 1950; Булгаков, 1958, 1961) игнорируют видовую специфику березы бородавчатой (*Betula verrucosa* Ehrh.) и березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.), объединяя их в рамках старого линнеевского вида березы белой (*Betula alba* L.). Однако каких-либо доказательств по этому вопросу совершенно не приводится. В то же время по экологии эти два широко распространенных в Предуралье и на Урале вида березы заметно отличаются (Кулагин, 1963б).

Небезынтересно подчеркнуть, что в исследованных нами окрестностях медеплавильного завода почти полностью отсутствует береза пушистая. Нельзя считать единственной причиной этого явления лишь только недостаточные по увлажненности почвенно-грунтовые условия. Вероятно, повышенная газочувствительность ее листьев и, следовательно, более сильная ее повреждаемость двуокисью серы наряду с засухами и обусловили ее крайне редкую встречаемость. Массовое распространение получила береза бородавчатая. Каковы же причины ее высокой газоустойчивости, несмотря на ежегодные газовые повреждения облиственных крон. Подвергаясь в зоне периодического задымления ежегодным газовым воздействиям, береза бородавчатая испытывает вполне определенное отрицательное влияние с их стороны: в кронах появляются сухие ветви, часть деревьев начинает суховершинить, отмечаются случаи полного их отмирания. Эти отрицательные последствия выражены в березняках тем ярче, чем сильнее газовые атаки. В то же время основная масса и древостоя и подроста березы продолжает жить.

Прежде всего следует указать на то, что май и июнь свободны от газовых воздействий. Благодаря этому в раннелетний период береза без каких-либо препятствий осуществляет важнейшие процессы роста и формирования побегов, цветения и развития семян и плодов. К началу июльских газовых атак все эти процессы оказываются в основном уже завершенными. В этом заключается одна из причин положительных особенностей среднелетнего режима задымления (Кулагин, 1964а). Однако в ходе завершения указанных процессов побеги березы теряют способность к повторному облиствению. Проведенные нами опыты по дефолиации крон берез в зоне эпизодического задымления в разные сроки вегетации (1963) показали следующее. В мае и июне листья восстанавли

ваются после двух-четырёхкратной дефолиации. Начиная с 25 июня и до начала августа однократное удаление листьев приводит к устойчивому оголению кроны и усыханию их ветвей. С 10 августа отмирание безлистных ветвей и побегов от высыхания прекращается. Выше были приведены данные, характеризующие картину повреждения крон и отмирания берез в различных типах леса. Чаще всего усыхающие и сухие березы встречаются в понижениях рельефа или на опушках. Часто гибель всего дерева предотвращается пробуждением спящих почек, развитием из них порослевых побегов. Наблюдения показывают, что газовый поток весьма неоднороден по концентрации токсичного компонента; характерно неоднородное, мозаичное распределение газовых поражений по площади. Вполне понятна еще большая неоднородность быстро движущегося газового потока при турбулентном его характере. Поэтому в пределах одной пробной площади находятся деревья с кроной слабо и средне и сильно пораженной газами. Характерно, что как слабо, так и сильно пораженных берез немного, тогда как среднепораженные деревья преобладают. При этом листья, пораженные средне, т.е. на 10-20-30-40%, начинают опадать лишь в первой половине августа. В течение же июля они функционируют в кроне, обеспечивая как сохранение жизнеспособности ее ветвей и побегов, так и прохождение у почек и тканей побегов необходимых процессов подготовки к зиме. Массовый листопад в пораженных березняках проходит в течение второй половины августа. В кронах здоровых берез в это время лишь только начинают появляться желтые листья. Вне задымления только у липы в это время начинается массовая осенняя окраска листьев и листопад. Преждевременное оголение крон берез не приводит к их усыханию, так как погода к этому времени (конец августа, сентябрь) становится более прохладной и влажной, а побеги в безлистном состоянии проявляют достаточно высокую засухоустойчивость. Следовательно, в окрестностях медеплавильного завода береза в связи с среднелетним режимом задымления попадает в условия укороченного периода вегетации. Именно поэтому Шаблиновский и Красинский сделали ошибочный вывод об отмирании березняков из наблюдаемого ими факта преждевременного листопада березы, что с 3 августа было отмечено массовое опадение листьев у березы, и 10 августа некоторые растения стояли оголенные.

Итак, массовое распространение березы бородавчатой в окрестностях медеплавильного завода обусловлено приуроченностью газовых атак к среднелетнему периоду (конец июня, июль) и их неспособностью вызвать сильные ожоги всей листвы в кронах всех деревьев. Частичное осуществление подобных газовых поражений облиственных побегов и крон и лежит в основе отмеченных нами фактов наличия в кронах сухих ветвей и наличия в березняках отдельных сухих или усыхающих деревьев. Приуроченность газовых поражений к среднелетнему периоду для березы, с одной стороны, благоприятна, в связи с завершением ею основных процессов роста и формирования побегов, цветения и развития семян, а с другой стороны, весьма опасна по причине потери ею способности к повторному облиствению, приводящей к возникновению критического периода в связи с действием летних иссушающих факто-

ров. Поэтому сохранение в это время на побегах хотя бы части листьев со средней (менее 40%) степенью газовых ожогов гарантирует их выживаемость и, следовательно, выживаемость всего дерева. Преждевременный листопад в августе не опасен и экологически равноценен раннему завершению вегетации от летних засух или от ранних сильных заморозков. К действию этих неблагоприятных природных факторов береза приспособилась характером ритма своего сезонного роста и развития.

Из изложенного вытекает один немаловажный вывод: для улучшения условий произрастания березняков в окрестностях медеплавильного завода весьма существенным окажется не только устранение задымления в летнее время и в течение критического среднелетнего периода, но и хотя бы частичное сокращение количества выбрасываемой в атмосферный воздух двуокиси серы. Осуществление последнего мероприятия обеспечит небольшое, но для облиствения крон берез весьма важное уменьшение степени газовых ожогов и, следовательно, возрастание численности листьев со средней и слабой поврежденностью.

### **Об изменениях почв под влиянием двуокиси серы**

При создании санитарно-защитных лесополос и лесовосстановлении в окрестностях заводов необходимо учитывать лесорастительные свойства почв, подвергнувшихся воздействию дымовых выбросов. Близ медеплавильного завода нами была предпринята попытка определить степень фитотоксичности горно-лесных почв, находившихся в сфере влияния двуокиси серы около 50 лет. Химические анализы почв и оценка роста деревьев позволяют уточнить адаптационные возможности двух основных лесообразующих видов – сосны обыкновенной и березы бородавчатой.

Характерной особенностью почвообразующих горных пород обследованного района является высокое содержание в них магния в связи с преобладанием минерала серпентина (Богатырев, 1940). Определения величины рН электрометрически, содержания кальция и магния трилонометрическим методом и гидролитической кислотности (Агрохимические методы, 1954) подтвердили ожидаемые сдвиги в почве в результате сильного подкисляющего действия двуокиси серы при взаимодействии с почвенной влагой, дающей сернистую кислоту. В табл. 35 дана характеристика изменений в маломощной шибнистой черноземовидной суглинистой почве, развитой на элюво-делювии серпентинитов. В качестве контроля взят участок сосняка остепненного, находящегося в Ильменском заповеднике на серпентинитовых (змеевиковых) сопках. На расстоянии 0,5 (пр. площ. № 24) и 0,7 км (пр. площ. № 26) от завода аналогичные участки заняты сосново-березовым лесом, причем на первом из них верхний ( $A_1$ ) горизонт отсутствует.

Приведенные данные свидетельствуют о сильном подкисляющем влиянии заводских эксгалатов на верхние слои почвы: рН достиг величины, присущей торфяноболотным почвам, а гидролитическая кислотность от нулевых значений возросла до 18–20 мг-экв. Одновременно снизилось

Таблица 35

Некоторые химические особенности почв, сформировавшихся на элювио-делювии серпентинитов в связи с удаленностью от медеплавильного завода

Горизонт и глубина зиятия образования, см	Расстояние от завода, км	pH	Гидролитическая кислотность, мг · экв	Ca, мг · экв	Mg, мг · экв
A <sub>1</sub> . 1-10	0,5	горизонт разрушен эрозией			
	0,7	5,8	20,6	10,0	15,2
	35	6,0	0,0	13,2	41,8
A <sub>2</sub> . 15-25	0,5	3,5	17,9	3,3	2,4
	0,7	5,2	2,0	4,4	20,0
	35	7,2	0,0	4,2	47,5
B. 30-40	0,5	5,2	2,3	4,2	22,6
	0,7	5,2	2,2	4,8	24,0
	35	7,4	0,0	5,8	64,9

содержание кальция и особенно магния. Экологическая оценка этих изменений может быть произведена с помощью показателей роста сосны и березы. Хорошо известна способность этих видов достаточно успешно расти как на подзолистых, так на болотных почвах, отличающихся сильно кислой средой и ограниченным содержанием кальция и магния. Эта их малая требовательность к почвенному плодородию, несомненно, обеспечивает произрастание сосны и березы на подкисленных обедненных почвах горных склонов близ медеплавильного завода.

Бонитет сосны и березы - IV. Столь же низкий бонитет присущ сосне и березе на серпентинитовых сопках Ильменского заповедника, что указывает на общую причину - недостаточное влагообеспечение мало-мошных щепнистых почв. Близ завода годичный прирост побегов сосны сокращен в два-три раза, что можно связать с угнетающей синтетической деятельностью дерева загазованностью воздуха. Об этом свидетельствуют укороченность (на 20-22%) хвои и значительная насыщенность ее мезофилла серой (0,23% от сухого веса против 0,05-0,07% вне задымления). Годичный прирост ствола березы близ завода и в Ильменском заповеднике сходен, варьируя от 14 до 23 см. Данные о естественном возобновлении березы бородавчатой в окрестностях медеплавильного завода (см. табл. 34) свидетельствуют о способности этого вида поселяться на эродированных горных склонах при продолжающемся задымлении.

Семена сосны способны прорасти и давать жизнеспособные всходы на почве, сильно измененной двуокисью серы (pH-3,5). Но подобные обнадеживающие данные получены в опытах вне задымления; при

продолжающемся задымлении близ завода самосев сосны погибает. Он выживает лишь при определенной, как было указано выше, удаленности от завода.

Приведенные данные не подтверждают теорию выщелачивания почвы и резкого ухудшения минерального питания под влиянием двуокиси серы, предложенную А. Вилером (A. Wiegler, 1912) и поддержанную Н. П. Красинским (1937) и Х. М. Исаченко (1938). Следует отметить, что Исаченко принимал справедливость взглядов Вилера лишь только в отношении к бедным кислым почвам дерново-подзолистой зоны. Тучные черноземы Донбасса, где работал Исаченко, в сферу теории Вилера не входят. В нашем случае высокая насыщенность горносклоновых почв первичными минералами так же препятствует развитию прогрессирующего обеднения почв.

Уместно напомнить еще об одном экологически тревожном обстоятельстве, на возможность которого указывал А. Немец (A. Nemes, 1954). По данным Немца, в Южной Чехии наблюдается гибель лесных культур из сосны, березы, ивы козьей и рябины в результате интоксикации никелем и кобальтом на почвах, сформировавшихся на чернифите (водный силикат никеля и магния). Интоксикация указанными микроэлементами возникает при повышенной кислотности почв. Известкование, снизившее в опытах Немца кислотность почв, привело к соответствующему уменьшению токсичности никеля и кобальта. В нашем случае сильное подкисление почв не сопровождается явлениями интоксикации, что, по-видимому, можно связать с иным в сравнении с чернифитом химическим составом серпентинита.

Все изложенное дает основание прогнозировать удовлетворительное естественное возобновление березовых и сосновых лесов на окружающих завод горных склонах при условии резкого снижения уровня загазованности воздуха. Несомненно, что внесение в почву извести, мочевины и других видов удобрений может благоприятно повлиять не только на рост взрослых деревьев, но и на появление и рост самосева сосны и березы (Wentzel, 1959; Matema, 1960; 1962).

## Выводы

1. В окрестностях медеплавильного завода динамика лесной растительности обусловлена в значительной мере воздействием дымовых отходов. На прилегающем с востока к заводу горном хребте, находящемся в связи с преобладанием западных ветров под ежегодным многократным (постоянным) газовым воздействием, вырубки остаются безлесными и вследствие разрушения и смыва почвенного покрова превращаются в эродированные каменные склоны. На незначительных участках с сохранившейся почвой развиваются группировки вейника лесного, пырея ползучего и фрагменты горной степи; последние возникают из травяного покрова остепненных лиственничников.

2. Пространства, прилегающие к заводу с запада, севера и юга, подвергаются ежегодным одно-, редко двукратным (периодическим) газо-

вым воздействиям в среднелетнее время. Этот режим задымления оказался относительно безвредным для березы бородавчатой, что и позволило ей заселить вырубки сосновых лесов. Весьма характерно возникновение на склонах крутизной более  $10^{\circ}$  березняков каменистых мертвопокровных с полным отсутствием почвенного покрова в результате его разрушения и смыва. По пологим склонам на месте сосняков брусничных, бруснично-черничных и широколиственных формируются березняки с преобладанием в напочвенном покрове вейника лесного. В них происходит непрерывное и достаточно интенсивное семенное возобновление березы бородавчатой. Наибольшей повреждаемости подвергаются и древостой, и подрост в депрессиях рельефа вследствие скопления в них газовых масс; однако газовые повреждения не настолько сильны, чтобы вызвать катастрофическое отмирание березняков. В отдаленных — более 5 км к востоку и более 2 км к западу, северу и югу от завода — участках с не ежегодным (эпизодическим) задымлением происходит возобновление сосны.

3. Причиной массового распространения и достаточно успешного произрастания березняков в окрестностях медеплавильного завода является обусловленная климатом строгая приуроченность газовых поражений к среднелетнему (конец июня, июль) периоду при отсутствии сплошного и быстрого отмирания всей листвы в кронах деревьев. Последнее обусловлено неоднородностью газовых потоков и, как правило, однократным прохождением их в каком-либо одном направлении. При этом в кронах преобладают листья со средней степенью ожогов (до 40% их поверхности), что позволяет им функционировать до середины августа и тем самым препятствовать отмиранию побегов и ветвей от легкого иссушения. Преждевременный листопад со второй половины августа для берез не смертелен, так как к этому времени оказываются в основном завершенными не только процессы цветения и развития семян, но и важнейшие процессы роста и формирования почек и побегов и приобретения ими устойчивости к неблагоприятным факторам позднелетнего и осенне-зимнего периодов. Все это обеспечивает березе продолжение вегетации в следующем году. В подобных условиях задымления сосна может проявлять аналогичную устойчивость.

4. Несмотря на смыв в результате водной эрозии верхних горизонтов почвы с прилегающих к городу и заводу горных склонов, сильное подкисление и заметное обеднение соединениями кальция и магния их верхних слоев береза бородавчатая успешно возобновляется и растет при наличии благоприятных условий почвенного увлажнения. Поэтому теория обескальцивания почв под влиянием двуокиси серы, предложенная Вилером (1912) и поддержанная в отношении лесных почв Н.П.Красинским (1937) и Х.М.Исаченко (1938), неприменима к окрестностям медеплавильного завода. Это обусловлено, с одной стороны, высокой приспособляемостью березы бородавчатой к бедным и кислым почвам и, с другой стороны, значительной насыщенностью горно-склоновых почв первичными минералами и обломками выветривающихся горных пород, обеспечивающих благоприятный уровень почвенного минерального питания. Эти же моменты характеризуют и сосну, что позволяет надеяться на ее быстрый возврат в будущем после прекращения задымления на ранее занимаемые местоположения.

### Состояние и динамика лесов

Район магнезитового завода расположен в центральной части подзоны хвойно-широколиственных и южнотаежных лесов лесной зоны Южного Урала (Колесников, 1961). Лесорастительные условия этого района Урала достаточно благоприятны: повышенное количество осадков и широкое распространение темно-серых и серых и слабоподзолистых почв, развитых на глубоко выветрелых глинистых сланцах, кварцитах, доломитах, песчаниках. Лесная растительность в основном представлена сосняками; значительно реже встречаются ельники, липняки, березняки, осинники, сероольшаники. Подобный состав лесов обуславливается также и тем, что высота горных хребтов и сопок колеблется в пределах 300–600 м над уровнем моря.

Под воздействием пылевых отходов магнезитового завода в растительном покрове его окрестностей произошли существенные изменения. Они выразились прежде всего в гибели горных сосняков на больших площадях, в возникновении обширных безлесных пространств. Процесс отмирания сосновых лесов не закончился и в настоящее время. Для выбора правильных позиций лесоводов необходимо знать экологический характер действия магнезитовой пыли и причины различной пылеустойчивости лесобразующих видов.

Технология магнезитового завода предусматривает обжиг руды при 600–1200°. При этом и образуется фитотоксичная магнезитовая пыль, состоящая в основном из окиси магния (80%) с примесью окиси кальция, кремнезема, сажи. Эта пыль, взаимодействуя с водой, образует цементирующуюся массу и сильно подщелачивает среду.

На основе документальных сведений по истории завода и результатов лесоустройства территории лесхоза представляется возможным выяснить ряд моментов в динамике лесов.

Вначале технология переработки магнезитовой руды была весьма несовершенна. Используются шахтные печи вначале с древесным, а затем с мазутным топливом.

Количество выбрасываемой в атмосферный воздух магнезитовой пыли ничтожно, а радиус ее разлета не превышал 1 км вследствие маломощности шахтных печей, слабой истираемости магнезитовой руды при обжиге и небольшой высоте труб (10–15 м). В связи с этим леса, прилегающие к городу и находящемуся на его окраине заводу, не испытывали на себе губительного влияния магнезитовой пыли. В дальнейшем была осуществлена замена маломощных шахтных печей высокопроизводительными вращающимися печами. Наряду с мазутным топливом начинает использоваться пылеугольное топливо. Добыча руды и ее переработка резко возрастают. Постройка высоких, до 60 м, труб привела к резкому увеличению дальности разноса магнезитовой пыли вет-

Таблица 36

## Характеристика основных зон запыления

Показатель	Зоны запыления				
	очень сильного	сильного	среднего	слабого	очень слабого
	До 3-4 км к востоку и до 0,5-1 км к северу, западу и югу от завода	От 3-4 до 5-6 км к востоку и 0,5-1 до 2-3 км к северу, западу и югу от завода	От 5-8 до 10 км к востоку и от 2-3 до 4-5 км к северу, западу и югу от завода	От 10 до 13-15 км к востоку и от 4-5 до 7-8 км к северу, западу и югу от завода	Далее 15 км к востоку и далее 8 км к северу, западу и югу от завода
Интенсивность запыления, кг/м/год	1-5	0,1-0,2	0,02-0,08	0,001-0,004	менее 0,001
Степень охвоенности крон сосны, %	25-30	25-30	40-60	70-90	95-99
Продолжительность отмирания соснового древостоя, годы	5-7	5-7	15-20	30-40	-

ром. Осуществляется монтаж пылеулавливающих установок. Однако прилегающие к заводу сосновые леса испытывают на себе губительное влияние пыли. Массированный выброс в воздух магнезитовой пыли обуславливает ввод в действие новых пылеулавливающих установок. Они обеспечивают сохранение больших количеств ценного продукта, но не могут полностью устранить губительный для лесов фактор задымления.

Для выяснения динамики лесной растительности необходимо учитывать различия режима запыления и скорости отмирания сосновых древостоев по зонам (табл. 36).

Ознакомимся с характером динамики растительности на примере трех типов леса - сосняка липово-черничного по слабо всхолмленным плато и выровненным вершинам горных хребтов и сопок, сосняка кизильникового по крутым инсолируемым склонам и сосняка костянично-вейникового по пологим склонам, их подошвам и выровненным межгорным понижениям. Более подробно эти типы леса описаны в статье (Кулагин, 1964 б.).

В зоне сильного зыпыления в первые пять-семь лет полностью погибают травяно-моховый покров и сосновый древостой во всех трех типах леса. Вырубка усохшего мертвопокровного сосняка приводит к формированию на месте а) сосняка липово-черничного луговой растительности из мятлика однолетнего (*Poa annua* L.) и пырея ползучего (*Agropyron repens* L.); б) сосняка кизильного - группировок из мятлика однолетнего, в) сосняка костянично-вейникового - пырейного луга. Остающиеся после рубки единичные деревья и куртины листопадных видов (лиственницы Сукачева, липы мелколистной, осины, рябины, кизильника черноплодного), лишаются возможности семенного размножения, постепенно отмирают.

В зоне среднего зыпыления отмирание соснового древостоя растягивается на 15-20 лет, в связи с чем под его пологом успевае т сформироваться травостой из отмеченных видов злаков.

В зоне слабого зыпыления отмечается аналогичная картина, причем под пологом усыхающих сосняков создается более сложный по видовому составу травостой из пырея ползучего, мятлика лугового и узколистного, вейника тростниковидного и наземного, полевицы белой с участием крохоблелки лекарственной, сныти обыкновенной, чины луговой, клевера среднего, подмаренника северного. На вырубке из указанных видов оформляется луговой ценоз. В этих условиях погребение растений магnezитовой пылью идет очень медленно и, учитывая успехи в конструировании надежных пылеуловителей, не достигнет той степени, которая уже есть в зоне сильного или создается в зоне среднего зыпыления. Следовательно, усыхание сосняков, отмирание лесного травостоя, мощное развитие на вырубках луговых злаков и накопление на поверхности почвы цементирующей магnezитовой пыли - таковы основные черты динамики лесов в условиях зыпыления.

### **Влияние магnezитовой пыли на листья древесных растений**

Из всех перечисленных выше видов деревьев и кустарников наиболее сильно страдает от магnezитовой пыли сосна. Каковы же предпосылки весьма низкой пылеустойчивости сосны? Рассмотрим ряд фактов.

1. При любой интенсивности зыпыления на побегах текущего прироста сосны отсутствует погибшая от пыли хвоя, хотя весьма часто можно отметить у однолетней хвои болезненный светло-зеленый или желтовато-зеленый цвет. Следовательно, однолетняя хвоя сразу же не погибает от оседающей на ее поверхность магnezитовой пыли, хотя и испытывает с ее стороны угнетающее влияние, проявляющееся в некотором изменении окраски и в укорочении.

2. Покраснение и побурение хвои наблюдается только на приростах предшествующего периода вегетации, т.е. у двухлетней хвои. Следовательно, под влиянием пыли хвоя отмирает только на втором году жизни. Не вся двухлетняя хвоя погибает от пыли; часть ее остается живой. Довольно часто встречаются хвоинки, у которых верхняя половина побуревшая (мертвая), а нижняя зеленая (живая).

3. Уцелевшая от губительного действия пыли в первые годы жизни хвоя в последующие третий и четвертый годы жизни не погибает, хотя ее поверхность подчас весьма сильно запыляется. Следовательно, магнетитовая пыль не действует губительно на взрослую полностью сформированную хвою.

4. Отмечены случаи слабого поражения хвои и сосен, произрастающих в зоне сильного запыления. В кронах этих сосен, характеризующихся удовлетворительным ростом в высоту (10–15 см в год), изредка встречаются побуревшие хвоинки. Вся остальная хвоя имеет здоровый зеленый и темно-зеленый цвет, хотя и довольно сильно запылена.

5. В зоне сильного запыления в кроне сосны находится обычно только однолетняя хвоя; предыдущие приросты ветвей лишены хвои. В зоне среднего и слабого запыления в кроне сосен кроме однолетней хвои текущего прироста находится еще часть двух-, трех-, четырехлетней хвои, причем некоторые из этих хвоинок полностью живые, а у других верхняя половина омертвевшая.

6. Все лиственные породы испытывают на себе отрицательное влияние магнетитовой пыли. Это находит свое проявление в наличии на листовой пластинке светло-зеленых и зеленовато-желтых пятен, обычно располагающихся между боковыми жилками. Особенно часто это наблюдается у ольхи серой, ивы белой, ивы козьей, черемухи. Листья березы пушистой поражаются сильнее в сравнении с листьями березы бородавчатой, что может быть поставлено в связь с ее мезоморфной структурой в отличие от более ксероморфной структуры листьев березы бородавчатой.

7. В одинаковых условиях запыления кроны ели сибирской изреживаются заметно слабее, чем кроны сосны, хотя ель, как и сосна, после нескольких лет непрерывного сильного запыления усыхает.

Все эти факты могут быть объяснены лишь при условии принятия следующих положений.

Магнетитовая пыль отрицательно влияет только на молодые листья со слабо развитым эпидермисом и кутикулой. Возникающие во время дождей, рос и туманов на поверхности листа капли щелочного раствора проникают внутрь мезофилла. Однако клетки мезофилла обладают, как правило, достаточно высокой сопротивляемостью к угнетающему влиянию щелочного раствора и отмирают лишь после перезимовки, в начале следующего периода вегетации. Отмирание хвои, проявляющееся в покраснении и побурении, наступает в начале вегетации (конец апреля – начало мая). Вероятно, это связано с губительным влиянием магниевой щелочи, проникшей в мезофилл и препятствующей возобновлению нормальной жизнедеятельности его клеток с наступлением второго года вегетации. Магнетитовая пыль не способна оказывать угнетающее влияние на листья с полностью сформированной и хорошо развитой покровной тканью. Периодом наибольшей уязвимости или наименьшей стойкости к пыли (критическим периодом) у сосны, так же как и у других древесных и кустарниковых пород, является начало вегетации, обычно май и июнь, когда происходят интенсивный рост побегов и разветвление и формирование листьев. Даже в условиях силь-

ного запыления у всех, без исключения, деревьев и кустарников в течение вегетации осуществляются закладка и формирование жизнеспособных почек, успешно перезимовывающих и на следующий год обеспечивающих облиствение кроны. Необходимо, однако, заметить, что текущий прирост у сосны при этом заметно сокращается. Часть же побегов вообще весной не трогается в рост. Эти моменты являются, во-первых, результатом отмирания сосущих корней и микоризы в сильно щелочных верхних слоях почвы и общего ослабления корневой системы, во-вторых, — результатом функционирования в кроне сосны только однолетней хвои на побегах текущего прироста, в-третьих, — результатом пониженной синтетической деятельности этой хвои из-за явного угнетения ее мезофилла щелочным раствором (Кулагин, 1964 в). Отмирание сосны зависит не только от интенсивности запыления, но и от условий типа леса и состояния дерева. В более сухих типах леса изреживание крон и отмирание сосен происходит быстрее в сравнении с оптимально увлажненными сосняками (табл. 37).

Различие в степени охоенности крон сосны и ели сибирской в первые годы запыления может быть объяснено в первую очередь большей продолжительностью жизни хвои ели. Хвоя сосны живет, как известно, три-четыре года, а хвоя ели — семь-восемь лет. Если мы примем продолжительность жизни хвои сосны в четыре года, а ели — в восемь лет, то в условиях сильного запыления, когда поражаются пылью все хвоинки в кроне, ежегодно крона сосны будет изреживаться на 25%, а крона ели — на 12,5%.

Отмирание хвои в кроне и у сосны, и у ели происходит, с одной стороны, под влиянием естественного старения, а с другой стороны,

Таблица 37

Динамика охоенности крон и отмирания сосны в различных типах леса в зоне сильного запыления с 1956 г.

Тип леса	Год	Сухо-стой	Степень охоенности крон, %				
			До 10	11-25	26-50	51-75	76-100
Сосняк кизильниковый	1959	14,7	20	33,4	24	6,6	1,3
	1961	86,6	13,4	-	-	-	-
	1963	100	-	-	-	-	-
	1965	100	-	-	-	-	-
Сосняк брусничный	1959	1,8	23,2	26	24,5	20,4	4,1
	1961	51,8	41,1	4,1	-	-	-
	1963	95,9	4,1	-	-	-	-
	1965	100	-	-	-	-	-
Сосняк костянично-вейниковый	1959	2,2	10,9	17,4	39,1	23,9	6,5
	1961	26,1	41,3	21,7	8,7	-	2,2
	1963	63,0	26,1	10,9	-	-	-
	1965	100	-	-	-	-	-

под влиянием магнезитовой пыли. Так как сформировавшаяся старая хвоя от пыли не погибает, то изреживание кроны идет постепенно в результате гибели молодой хвои на втором году жизни. Однако вследствие одновременного естественного отмирания старой хвои наступает время, когда в кронах этих пород остается только однолетняя хвоя. У сосны этот минимальный уровень охвоенности наступает после трех лет, а у ели — после семи лет непрерывного запыления. Недочет именно этого обстоятельства явился причиной ошибочного вывода Носырева (1962) о повышенной пылеустойчивости ели и рекомендации ее в ассортименте пород, пригодных для лесоразведения в условиях запыления. Носырев пишет: "Кроме сосны, из хвойных в этом районе (магнезитового завода. — Ю.К.) произрастают лиственница и ель, состояние которых несколько лучше. Обе они, и в первую очередь лиственница, могут войти в ассортимент пород при лесоразведении". С учетом изложенных выше закономерностей сближение по степени пылеустойчивости ели и лиственницы неправильно.

Отмирание сосны часто происходит не в результате полной гибели всей хвои от пыли, а вследствие нападения стволовых вредителей (большой и малый сосновый лубоеды, шестизубый и вершинный короеды и др.) на ослабленное дерево, лишившееся значительной части своей хвои (Носырев, 1962). В отмирании сосняков окрестностей завода решающее значение имеет ветровой режим в начале вегетации (май-июнь), так как только ветер разносит магнезитовую пыль, поражающую молодую растущую хвою. Чем сильнее ветер и чем чаще в этот критический для сосны период он меняет свое направление, тем обширнее площадь поражаемых пылью лесных массивов. Во второй половине вегетации и в осенне-зимний период разносимая ветром пыль не опасна для сформировавшейся сосновой хвои. Отсюда следует, что прежде всего именно в этот критический для сосны и для других видов период необходимо устранять фактор запыления.

### **Влияние окиси магния на почву и семена лесных деревьев**

Окись магния при взаимодействии с водой сильно подщелачивает почву, повышая pH в ее верхних слоях до 8-8,6; одновременно сильно возрастает содержание магния (табл. 38). Для интересующих нас видов лесных деревьев — сосны обыкновенной, лиственницы Сукачева и березы бородавчатой — насыщение почвы магнием экологически не опасно. Эти виды успешно произрастают на почвах с различным содержанием как магния, так и кальция. Так, например, по нашим данным, в серых лесных слабо оподзоленных почвах на гранито-гнейсах содержание магния составляет всего 3,5 мг·экв., что более чем в шесть раз меньше содержания кальция. В вышеотмеченных черноземовидных почвах серпентинитовых сопок содержание магния возрастает до 67 мг·экв., превышая при этом содержание кальция в пять раз. Примечательно, что в этих крайних случаях рост сосны, лиственницы и

Таблица 38

Содержание кальция и магния и величина pH в серой лесной суглинистой почве в связи с удаленностью от магнетитового завода

Горизонт и глубина взятия образца, см	Расстояние от завода, км	pH	Ca, мг·экв	Mg, мг·экв
A <sub>1</sub> . 5-10	1	8,6	2,79	66,96
	4	8,6	3,53	54,92
	6	6,6	7,99	23,03
A <sub>2</sub> . 15-20	1	7,6	2,73	29,30
	4	7,8	8,83	12,82
	6	6,5	6,58	6,37
B. 30-40	1	6,8	7,67	27,67
	4	7,0	11,16	30,00
	6	5,7	5,64	5,40
BC. 50-70	1	7,4	6,98	12,56
	4	7,4	9,30	21,39
	6	5,4	8,46	6,58

березы не встречает каких-либо затруднений. Однако в научной литературе высказано мнение о кальциефобности сосны и березы и магниефильности лиственницы (Воинов, 1935; Щербаков, 1951). П.А. Воинов, проводя вегетационные опыты на сибирском черноземе в условиях г. Омска, установил, что внесение в почву углекислого кальция (до 8%) может сильно угнетать и даже губить однолетние сеянцы березы бородавчатой и сосны обыкновенной. Лиственница же при этом только несколько снижает рост. А.П. Щербаков (1951), обобщая эти данные, пришел к выводу о том, что береза представляет собой чувствительную породу по отношению к углекислому кальцию и поэтому может быть отнесена к группе кальциефобов. Сосна отличается несколько меньшей кальциефобностью. К иным выводам пришли Т.Г. Чубарян и Л.В. Кеворкова (1960), проводившие опыты на светло-бурой суглинистой окультуренной почве Ереванского ботанического сада с содержанием 5,7% углекислого кальция при pH-7,3. Сосну и лиственницу они квалифицируют как виды слабо кальциефобные. По березе данных не приводится. Наши исследования в Жигулях, на Южном Урале и Уфимском плато показали, что сосна и береза успешно растут на сильно карбонатных почвах, развитых на известняках, доломитах и доломитизированных известняках.

В результате проведенных нами опытов (почва-гумусовый горизонт выщелоченного чернозема) выяснено, что сеянцы сосны, лиственницы и березы успешно произрастают при самых различных концентрациях

углекислого кальция — от 0,5 до 10%. Оказалось, что при этом рН почвы не превысил величины 7,14. При внесении же в почву гидрата окиси кальция щелочность резко возрастала и при концентрации более 5% рН превышала величину 8. При этом всходы всех трех видов погибают. Устранение губительной щелочности с помощью водного (10%) раствора соляной кислоты возвращает почве благоприятные лесорастительные свойства. Следовательно, правильнее говорить не о кальциефобности березы и сосны, а о их оксифильности. Их угнетение и отмирание в опытах Воинова следует связать с более сильным повышением щелочности, чему, несомненно, способствовало иное исходное химическое состояние сибирских черноземов.

Тезис о магниефильности лиственницы не согласуется с фактами ее успешного роста как на богатых магнием почвах, так и на обедненных им почвах, сформировавшихся на мiasкитах и гранито-гнейсах восточных предгорий Южного Урала (Богатырев, 1940). Лиственница Сукачева, как листопадный вид, во взрослом состоянии проявляет высокую устойчивость к пылевидной окиси магния, что и береза бородавчатая. Сосна в окрестностях магnezитового завода не выдерживает запыления. Но если по отношению к воздушной среде, загрязненной окисью магния, сосна существенно отличается от лиственницы и березы, то к щелочной почве их отношение одинаково отрицательно. Опыты с выращиванием семян на серой лесной суглинистой почве, загрязненной в разной степени окисью магния и при разных уровнях рН, показали следующее: при рН, равном 8,4, всходы всех трех видов погибли; при рН, равном 7,88, высота стеблей и весовые показатели наземных органов и корней семян сосны, лиственницы и березы снизились в 1,5–2 раза. Эти же показатели при рН–6,78 оказались весьма близки к данным, полученным в контрольном варианте с рН–6,21. Иначе говоря, сеянцы всех трех видов проявили четкую базифобность и локализацию оптимума роста к околoneйтральной и умеренно кислой почвенной среде. В опытах с искусственным загрязнением почвы окисью магния, имитирующих запашку магnezитовой пыли на глубину 5 см, сеянцы березы снизили высоту стеблей в четыре раза, а вес надземных органов и корневых систем — в 10–30 раз. В то же время сеянцы сосны и лиственницы проявили по сравнению с березой несколько большую устойчивость, снизив высоту стеблей и весовые показатели всего в 1,5–2 раза. Предпосылкой большей угнетаемости березы по сравнению с сосной и лиственницей должны быть признаны меньший вес семян и, следовательно, меньшее количество питательных веществ для проростков. Следует подчеркнуть, что щелочность оказывает основной вред через резкое торможение процесса поступления питательных минеральных солей в корни. Для лесных деревьев, базирующих минеральное питание на микоризе, подщелачивание особенно опасно, так как микоризообразующие грибы сосны, лиственницы и березы обладают ярко выраженной оксифильностью (Лобанов, 1953). К выводу о существенном значении высокой щелочности почв в гибели лесных растений близ магnezитовых заводов Словакии пришел E. Vublinc (1971).

В зоне сильного и среднего запыления естественное семенное возобновление отсутствует не только у отмирающей сосны, но и у достаточно пылеустойчивых древостоев березы и лиственницы. В зоне слабого запыления со слабо измененной почвой (рН верхнего 5 см слоя гор. А<sub>1</sub> - 7,25; гор. А<sub>2</sub> - 6,86; гор. В - 6,57; гор. ВС - 6,51) отмечается, несмотря на непрекращающееся запыление, естественное возобновление. Так, под пологом сильно изреженного рубками сосняка брусничного на 1 га отмечено наличие в возрасте одного - пяти лет до 500 семян березы бородавчатой, 2000 семян лиственницы и 15500 семян сосны.

Изложенный материал свидетельствует о наличии в окрестностях магнетитового завода губительной для семян лесобразующих видов высокой щелочности почв. Ее устранение внесением в посевные или посадочные места лесной слабо кислой почвы, торфа или химической мелиорацией с помощью водных растворов кислот позволит после полного прекращения запыления создать условия, благоприятные для массового лесовосстановления. В настоящее время следует признать весьма опасной повышение примеси к магнетитовой руде карбонатов. Последние при обжиге руды дают окись кальция, которая при взаимодействии с водой образует более сильную и, главное, более чем в 60 раз по сравнению с гидратом окиси магния растворимую щелочь. Если в настоящее время уровень щелочности, измеряемой рН-7,5, не опускается глубже 0,5 м, то при осаждении на почву окиси кальция вся толща почвогрунта станет сильно щелочной и, следовательно, в лесорастительном отношении непригодной. Будущие мелиорации неизбежно станут более трудоемкими и дорогими.

## Выводы

1. Магнетитовая пыль губительно влияет на лесную растительность и обуславливает ее смену лугами с доминированием в них пырея ползучего и мятлика однолетнего. Заключительной стадией динамики в условиях непрерывного запыления является покрытие поверхности почвы сплошной цементированной коркой из магнетитовой пыли. Скорость отмирания лесной древесной и травянистой растительности, массового развития луговых злаков под пологом усыхающих древостоев и на их вырубках, покрытия поверхности магнетитовой коркой определяется интенсивностью запыления.

2. Губительное действие магнетитовой пыли проявляется через создание ею при взаимодействии с водой высокой щелочности. Возникновение щелочной среды в верхних почвенных горизонтах обуславливает отмирание корней древесных и большинства травянистых растений. Лишь некоторые виды злаков и прежде всего мятлик однолетний и пырей ползучий проявляют к этим изменениям весьма высокую устойчивость. Относительно слабое проникновение в почвенную толщу магниевой щелочи позволяет видам с глубокой корневой системой сохранять жизнеспособ-

ность. Но их отмирание происходит по иным причинам: или вследствие губительного действия магнетитовой пыли на листья, или вследствие возникновения на почве резко неблагоприятных условий для семенного возобновления (задернение, подщелачивание, покрытие ее сплошной цементированной коркой).

3. Отмирание древесных пород с многолетней хвоей (сосна, ель) под влиянием магнетитовой пыли осуществляется следующим образом. В раннелетний период, когда происходит появление и формирование новой хвои, через слабо развитые наружные покровы молодых хвоинок в их мезофилл проникает водный раствор магниевой щелочи. Последняя образуется из частиц осевшей на их поверхность магнетитовой пыли и капелек воды от дождя, рос, туманов. В течение ближайших летних месяцев клетки мезофилла хвои подвергаются угнетающему, но не смертельному воздействию со стороны щелочи. Пораженные хвоинки приобретают болезненный желтовато-зеленый цвет и несколько меньшие размеры. Побеги текущего прироста при этом оказываются способными заложить почки, но заметно укорачиваются. Отмирание хвои наступает после перезимовки, в начале следующего периода вегетации, и сопровождается покраснением, побурением и опадением. Причиной ее отмирания является, вероятно, потеря способности к восстановлению нормальной жизнедеятельности из-за возникшей внутри мезофилла значительной щелочности. В зимний период ослабленная хвоя не подвергается ни иссушению, ни вымерзанию. Под влиянием магнетитовой пыли хвоя становится по-существу однолетней. Вследствие этого охвоенность кроны постепенно снижается, причем старая, полностью сформировавшаяся хвоя от запыления не страдает и отмирает в результате естественного старения. Сильное изреживание кроны и отмирание корней в поверхностных слоях почвы резко ослабляет дерево, вследствие чего оно отмирает от летнего иссушения или часто от заселения стволовыми вредителями (короеды, лубоеды).

4. Все листопадные деревья и кустарники также испытывают угнетающее влияние от магнетитовой пыли в период роста и формирования листьев. Однако вследствие ее естественного отмирания осенью непосредственного губительного эффекта от магнетитовой пыли на листьях не наблюдается. Поэтому все листопадные виды проявляют высокую пылеустойчивость, причем она тем выше, чем короче период роста и формирования листьев и лучше развиты их наружные покровы, а также глубже корневая система.

5. Сосна обыкновенная, лиственница Сукачева и береза бородавчатая характеризуются четко выраженной базифобностью в сочетании с оксифильностью. Изменения в соотношении концентраций кальция и магния в почве не могут быть причиной угнетенного роста и гибели этих видов, если не сопровождаются изменениями в соотношении водородных и гидроксильных ионов. Величина pH, равная 8, свидетельствует о возникновении в почвенной среде барьера, непреодолимого для данных лесобразующих видов.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Предлагаемое нами экологическое понимание проблемы дымоустойчивости древесных растений основывается на следующих положениях: а) промышленные токсичные соединения относятся к числу специфических антропогенных факторов; б) по отношению к этому новому фактору среды у древесных растений отсутствуют какие-либо специальные защитные приспособления; в) в измененной функционированием промышленных предприятий среде древесные растения неизбежно встают на преадаптивный путь, что означает использование ранее выработанных приспособлений для решения новых экологических задач; г) дымоустойчивость древесных растений не может быть сведена к какой-либо одной стороне их жизнедеятельности; защита от токсичных соединений у разных видов в различных режимах задымления и природных факторов осуществляется разными способами, с использованием различных приспособлений.

2. Последнее обстоятельство позволяет классифицировать формы дымоустойчивости исходя из того, что она может осуществляться на различных уровнях организации растительных видов. Предлагается следующий перечень основных форм дымоустойчивости древесных растений: анатомическая, физиологическая, биохимическая, габитуальная, феноритмическая, анабиотическая, регенерационная, популяционная, ценотическая. Перечисленные формы дымоустойчивости иллюстрируют ряд препятствий на пути токсичных дымовых выбросов. Видовая популяция, входя в состав ценоза, защищается от фактора задымления теми особенностями строения фитоценоза, которые затрудняют проникновение и распространение в нем дымовых потоков. В выживании популяции существенное значение имеют неоднородность ее биотипического состава и варьирование особей в возрастном и модификационном отношении. Размеры наземных органов, плотность крон, строение покровных и внутренних тканей тела растений, интенсивность их газообмена с окружающим воздухом, особенности метаболизма клеток и тканей, т.е. все то, что препятствует интоксикации растений, учтено нами в предлагаемой классификации. Итоговую дымоустойчивость растений целесообразно понимать как результат сочетаний и интегрирования различных способов защиты от токсичных соединений. Практически осуществимы прогнозирование степени устойчивости растительных видов к конкретным режимам задымления и разработка методов повышения их дымоустойчивости.

3. Дымоустойчивость древесных растений не может быть познана без обязательного учета сопутствующих условий внешней среды. Последнее необходимо не только потому, что растение, прежде чем быть дымоустойчивым, должно быть устойчивым к неблагоприятным природным факторам летнего и зимнего периодов, но и потому, что сама дымоустойчивость растений во многом зависит от условий внешней среды, которые могут заметно влиять на степень токсичности дымовых отходов, чувствительность к ним растений и их выживаемость в пов-

режденном состоянии. Поэтому дымоустойчивость древесных растений как по содержанию, так и по методам ее изучения представляет собой сложную экологическую проблему.

4. В поисках высокодымоустойчивых видов чисто эмпирические методы не могут обеспечить желаемых результатов, поскольку работа по существу ведется вслепую. Вполне естественно, что и при этом можно найти ценные высокоустойчивые виды. Как при выявлении высокоустойчивых видов, так и при их использовании целесообразно прежде всего ориентироваться на их экологические свойства и сопутствующие условия внешней среды, в которых и реализуются эти свойства, приобретая характер приспособлений. Отсюда следует, что нет видов вообще устойчивых или неустойчивых к промышленным дымам. Игнорирование особенностей различных режимов задымления лишает не только практической ценности, но и вообще смысла работу по распределению исследованных видов в группы по степени газочувствительности их листьев. Очевидно, что центр тяжести в исследованиях должен быть перенесен с распределения многих видов деревьев и кустарников в различные группы их "экологически безадресной" дымоустойчивости на выяснение того, какие средства используют растения в качестве защитных и какова степень соответствия этих средств данному фактору задымления. Последний характеризуется в отношении специфики физико-химических свойств токсичных дымовых компонентов, их концентрации, продолжительности, частоты и повторяемости воздействия.

5. Губительность сильных однократных газовых атак зависит от времени их возникновения, состояния растения и последующих погодных условий. Результаты наблюдений и проведенных нами опытов подтвердили целесообразность выделения трех основных случаев. Раннелетние газовые атаки для многих видов (но не для всех) относительно безопасны, так как после опадения пораженных листьев обычно происходит повторное облиствение побегов. Оно осуществляется или из-за продолжающегося нормального роста побегов в длину и новообразования листьев, или в результате раскрытия уже заложившихся почек и образования пролептических побегов. Среднелетние газовые атаки весьма опасны, так как способность к повторному облиствению у закончивших рост в длину побегов резко ослабевает и может вообще не проявляться. Высокая же напряженность иссушающих факторов приводит к обезвоживанию и отмиранию безлистных побегов.

Позднелетние газовые атаки неопасны, так как гибель и опадение листьев экологически равноценны иногда наблюдаемому в природе под влиянием позднелетних засух или ранних заморозков преждевременному листопаду. В условиях постоянной слабой загазованности сернистыми соединениями или воздействия не остротоксичной окиси магния решающей для выживания древесных растений становится продолжительность жизни их листьев; дымоустойчивость в этом случае базируется на свойстве ежегодной листопадности.

6; Фитотоксичные соединения, входящие в состав дымовых промышленных отходов, целесообразно рассматривать как экологический фактор, губительно действующий прежде всего и сильнее всего на листья.

Степень фитотоксичности промышленных дымов в значительной мере зависит от условий внешней среды. Отмирание листьев не означает еще гибели всего растения. Губительность токсичных соединений во многом определяется временем их воздействия. Выживаемость и восстановление нормальной жизнедеятельности древесных растений определяется степенью сформированности побегов и их устойчивости к последующим погодным условиям. Выявление высокодымоустойчивых видов деревьев и кустарников может быть успешным лишь при знании экологической специфики различных режимов и зон задымления, для которых планируются озеленительные или лесовосстановительные работы. Необходимо учитывать, что фактическая дымоустойчивость древесных растений зависит от совокупности ряда факторов внешней среды и свойств самих растений, из которых можно выделить четыре группы показателей; возникновение интенсивных и опасных газовых или пылевых атак (характер и мощность источника задымления, рельеф барический и ветровой режимы); степень поражения облиственных побегов (физиолого-биохимические и анатомо-морфологические особенности, сопутствующие погодные условия и, в частности, световой, тепловой, водный режимы); выживаемость дефолированных побегов и пораженных растений в целом (напряженность иссушающих факторов, суровость зимних условий, численность дендрофильных энтомовредителей, засухоустойчивость и зимостойкость растений); восстановление нормальной жизнедеятельности растений (характер и степень зараженности почв, активность корневой системы, способность к регенерации пораженных органов).

7. Экологический подход к изучению дымоустойчивости различных видов деревьев и кустарников привел к выводу о том, что у них существуют периоды особо повышенной уязвимости токсичными соединениями или критические периоды. У изученных видов по отношению к различным газообразным и пылевидным соединениям критические периоды приурочены к разным фазам их годового цикла. При действии двуокиси серы на виды со слабо выраженной способностью к повторному облиствению (сирень обыкновенная, жимолость татарская, барбарис обыкновенный, снежноточка кистистый и другие) критический период захватывает первую половину вегетации, а их отмирание происходит при участии летних иссушающих факторов. У видов с более развитой способностью к восстановлению листьев (липа мелколистная, ясень зеленый, береза бородавчатая и другие) он приходится на среднелетний период. В случае нефтяных газов с их своеобразным и избирательным фитотоксичным действием критический период совпадает с временем роста и формирования облиственных побегов, причем у одних видов (вяз перистовветвистый, береза пушистая, ясень зеленый) он реализуется в связи с действиями летних иссушающих факторов, а у других (клен ясенелистный) – с действием отрицательных зимних температур. В случае магнетитовой пыли критический период также приурочен ко времени роста и формирования побегов текущего прироста, но вследствие ее замедленного губительного действия – через подщелачивание мезофилла – отмиранию подвергаются только виды с многолетними листьями. Отмирание их происходит в результате постепенного изреживания

рон, ослабления дерева и отрицательного влияния летних иссушающих факторов и нападения энтомофитовредителей. В многолетней жизни деревьев критическим периодом является время появления и укоренения их всходов, когда формирующаяся корневая система неизбежно попадает под губительное влияние со стороны сильно подщелоченных магнетитовой пылью поверхностных слоев почвы. Значение приуроченности и длительности критических периодов обеспечивает создание для защиты древесных и кустарниковых насаждений рекомендаций тем промышленным предприятиям, технология которых позволяет сокращать токсичные дымовые выбросы в определяемое экологом время.

8. Проблема оздоровления окружающей среды в промышленных районах будет решена скоординированными действиями технологов и экологов. Конкретные усилия могут быть с успехом направлены, во-первых, на экологическую оценку планируемых изменений в технологическом процессе в связи с возможным появлением в окружающей среде особо токсичных соединений (например, окись кальция в магнетитовой пыли, более глубокий крекинг нефти), во-вторых, - на обеспечение защиты созданных насаждений в особо опасные для них критические периоды, в-третьих, - на определение того достижимого технологами минимального уровня загазованности воздуха, который может быть далее снижен насаждениями из видов деревьев и кустарников с ярко выраженной газопоглощительной способностью до безвредного для здоровья людей и живой природы уровня.

- Энгельс Ф. 1961. Диалектика природы. К.Маркс и Ф.Энгельс. Соч. т. 20, изд. 2-е.
- Агрохимические методы исследования почв. 1954. М., Изд-во АН СССР.
- Алиев А.Г. 1966. Насушные вопросы зеленого строительства г. Баку. — В сб. "Охрана природы на Урале", вып. 5. Свердловск.
- Антипов В.Г. 1955. Озеленение промышленных предприятий города Ленинграда. Автореф. канд. дисс. Ленингр. лесотехн. акад. им. С.М.Кирова.
- Антипов В.Г. 1957. Влияние дыма и газов, выбрасываемых промышленными предприятиями, на сезонное развитие деревьев и кустарников. — Ботан. ж., 42, № 1.
- Антипов В.Г. 1958. Влияние дыма и газа, выбрасываемых промышленными предприятиями, на сезонное развитие деревьев и кустарников. — Ботан. ж., № 1.
- Антипов В.Г. 1963. К вопросу о влиянии промышленных дымов и газов на хвойные леса Подмосковья в связи с увеличением влажности. — Булл. Гл. ботан. сада, вып. 46.
- Антипов В.Г. 1968. Поражение листьев промышленными газами как динамический процесс. Материалы Первой украинской конференции "Растения и промышленная среда". Киев, "Наукова думка".
- Балабанова З.М., Жариков С.С., Троицкая В.И. 1961. Озера Урала, нуждающиеся в охране и объявление памятниками природы. — В сб. "Охрана природы на Урале", вып. 2. Пермь.
- Библь Р. 1965. Цитологические основы экологии растений. М., изд-во "Мир".
- Богатырев К.П. 1940. Генезис почв на кристаллических и массивно-кристаллических породах, слагающих Ильменский заповедник. — Труды Ильменск. гос. заповедника, вып. 2.
- Булгаков М.В. 1958. Опыт озеленения г. Красноуфольска. — Материалы по озеленению городов Урала, вып. 1. Свердловск.
- Булгаков М.В. 1961. Выращивание березы на почвах, отравленных отходами производства. — В сб. "Обмен опытом по зеленому строительству". Свердловск.
- Ванифатов Д.Н. 1956. Ассортимент древесных пород декоративно-озеленительного значения в условиях Алма-Атинской области. Автореф. канд. дисс. Алма-Ата.
- Ванифатов Д.Н. 1959. Окисляемость клеточного содержимого как показатель газоустойчивости растений. Реф. докл. научн. конф. по рационал. лесн. хоз. и агролесомелиор. Казахстана. Алма-Ата.
- Воинов П.А. 1935. К биологии стойких в наших условиях древесных пород. Сообщение 3. Отношение семян сосны, лиственницы, березы и американского клена к углекислому кальцию. — Труды Омского с.-х. ин-та, 1, вып. 5.
- Волошин М.П. 1962. Деревья и кустарники для озеленения Донбасса. — Булл. Гл. бот. сада, вып. 45.
- Ворошилов Ю.И., Недотко П.А. 1960. Использование минерального топлива и изменение природной среды. — Охрана природы и заповедное дело в СССР, № 6.
- Гаевая З.И. 1962а. К вопросу газоустойчивости деревьев и кустарников. Научн. зап. Днепропетровск. ун-та, 78.
- Гаевая З.И. 1962б. Деревья и кустарники на промышленных площадках. Там же.
- Генкель П.А. 1946. Устойчивость растения к засухе и пути ее повышения. — Труды Ин-та физиологии растений АН СССР, 5, вып. 1.

Гетко Н.В. 1968. Газопоглолительная способность листьев и кустарников. — Материалы первой Украинской конференции "Растения и промышленная среда". Киев, изд-во "Наукова думка".

Гетта Я.К. 1957. Озеленение промышленных предприятий. Кемеровское книжное изд-во.

Глушков Н.Н., Долбиллин И.П., Венгеров В.И., Тимашев Ф.С. 1948. Леса Урала. Свердловск. Изд. Уральск. филиала АН СССР.

Гольдберг М.С. 1949. Современное состояние вопроса об изучении загрязнения и самоочищения атмосферного воздуха. — В сб. "Загрязнение и самоочищение внешней среды". М. Медгиз.

Гольденберг П. 1946. Озеленение городов и поселков. Деревья и кустарники. М., изд. Акад. архитектуры СССР.

Грошев А.П. 1958. Технический анализ. М., Госхимиздат.

Гусев Н.А. 1960. Некоторые методы исследования водного режима растений. Л., Изд-во АН СССР.

Гусева В.А. 1950. Влияние минерального питания на окислительно-восстановительный режим и газоустойчивость растений. — В сб. "Дымоустойчивость растений и дымоустойчивые ассортименты". Горький—Москва, Изд. Горьковск. гос. ун-та и Акад. коммунал. хоз-ва им. К.Д.Памфилова.

Дероян Г.В. 1957. Состояние древесных насаждений в промышленном центре в связи с загрязнением его атмосферы. — Изв. АН АрмССР. Биол. и с.-х. науки, 10, № 5.

Добровольский И.А. 1969. Влияние промышленного загрязнения среды на искусственные лесные посадки и степной растительный покров на юге Украины (Криворожье). Реф. докл. и сообщ. IV Уральск. научно-координац. совещ. по проблеме "Растительность и промышленные загрязнения". Свердловск.

Дорохов Б.Л. 1963. О возможности внеустьичного кутикулярного фотосинтеза у некоторых растений. — Ботан. ж., 48, № 6.

Жариков С.С. 1959. Климат района Ильменского заповедника и сопредельных пространств Южного Урала. — Труды Ильменск. гос. заповеди. им. В.И.Ленина, вып., 7, Миасс.

Железнова—Каминская М.А. 1953. Результаты интродукции хвойных экзотов в Ленинграде и его окрестностях. Интродукция и зеленое строительство. М.—Л., Изд-во АН СССР.

Иванецкий Ю.В. 1961. Состояние пылеулавливания на Карабашском горно-металлургическом комбинате. — В сб. "Состояние пылеулавливания на свинцово-цинковых и медеплавильных заводах СССР". М., Изд. Гос. научно-техн. комитета Совета Министров СССР.

Илькун Г.М. 1968. Загрязнение атмосферы на Украине и его влияние на растения. Материалы первой Украинской конференции "Растения и промышленная среда". Киев, изд-во "Наукова думка".

Илькун Г.М. 1971. Газоустойчивость растений. Киев, изд-во "Наукова думка".

Илькун Г.М., Миронова А.С. 1969. Взаимодействие атмосферной пыли с растениями. — Уч. зам. Пермск. гос. ун-та, № 222.

Илькун Г.М., Мотрук В.В. 1968. Физиолого-биохимические нарушения в растениях, вызываемые атмосферными загрязнителями. — Материалы первой Украинской конференции "Растения и промышленная среда". Киев, изд-во "Наукова думка".

Илькун Г.М., Панкратьева В.В., Тарасенко С.А., Миронова А.С., Михайленко Л.А. 1967. Пути повышения газоустойчивости растений. — В кн. "Пути повышения интенсивности и продуктивности фотосинтеза". Киев, изд-во "Наукова думка".

Илюшин И.Р. 1953. Усыхание хвойных лесов от задымления. М.—Л., Гослесбуиздат.

Ионин В.М. 1958. Лиственница Сукачева в озеленении г. Свердловска. — Материалы по озеленению городов Урала, вып. 1. Уральск.

Ионин В.М., Колташева В.Ф. 1961. Озеленение санитарно-защитных зон. Рекомендации по озеленению городов. Уральск.

Исаченко Х.М. 1938. Влияние задымленности на рост и состояние древесной растительности. — Сов. ботан., № 1.

Калкаев З.А. 1960. Санитарное состояние открытых водоемов и атмосферного воздуха Башкирской АССР и меры по борьбе с загрязнениями их промышленными выбросами. — В сб. "Состояние и задачи охраны природы в Башкирии" (Материалы первой научной конференции по охране природы Башкирии). Уфа.

Карпов П.П. 1953. Переработка нефти. М.—Л., Гостоптехиздат.

Князева Е.И. 1950. Газоустойчивость растений в связи с их систематическим положением и морфолого-анатомическими и биологическими особенностями. — В сб. "Дымоустойчивость растений и дымоустойчивые ассортименты". Горький—М. Изд. Горьковск. гос. ун-та и Акад. коммун. хоз-ва им. К.Д.Памфилова.

Колесников Б.П. 1960. Состояние и важнейшие задачи охраны природы на Урале. — В сб. "Охрана природы на Урале", вып. 1. Свердловск.

Колесников Б.П. 1961. Очерк растительности Челябинской области в связи с ее геоботаническим районированием. — Труды Ильменск. гос. заповедн. им. В.И.Ленина, вып. 8.

Колесников Б.П., Гвоздев В.С., Шарц А.К., Тарчевский В.В. 1961. Задачи охраны природы и рационального использования природных ресурсов Прикамья. — В сб. "Охрана природы на Урале", вып. 2. Пермь.

Красинский Н.П. 1937. Озеленение промплощадок дымоустойчивым ассортиментом. М., изд-во "Власть Советов" при Президиуме ВЦИК.

Красинский Н.П. 1940. О физиологической сущности газоустойчивости растений. — Уч. зап. Горьковск. гос. ун-та, вып. 9.

Красинский Н.П. 1950а. Значение изучения дымо- и газоустойчивости растений для озеленения промплощадок, городов и населенных пунктов. — В сб. "Дымоустойчивость растений и дымоустойчивые ассортименты". Горький—Москва Изд. Горьковск. гос. ун-та и Акад. коммун. хоз-ва им. К.Д.Памфилова.

Красинский Н.П. 1950б. Теоретические основы построения ассортиментов газоустойчивых растений. Там же.

Красинский Н.П. 1950в. Методика изучения газоустойчивости растений. Там же.

Красинский Н.П., Князева Е.И. 1950. Дымоустойчивые ассортименты. В сб. "Дымоустойчивость растений и дымоустойчивые ассортименты". Горький—Москва. Изд. Горьковск. гос. ун-та и Акад. коммун. хоз-ва им. К.Д.Памфилова.

Красинский Н.П., Побединская В.М. 1950. Повреждение зеленых насаждений дымовыми отходами на промплощадках нефтяной и химической промышленности. — В сб. "Дымоустойчивость растений и дымоустойчивые ассортименты". Горький—Москва. Изд. Горьковск. гос. ун-та и Акад. коммун. хоз-ва им. К.Д.Памфилова.

Криштофович А.Н. 1950. Эволюция растений по данным палеоботаники. — Проблемы ботаники, вып. 1.

Крокер В. 1950. Рост растений. М., ИЛ.

Кротова Н.Г. 1957. Влияние изменения воздушной среды на рост и развитие сосны в Лесной опытной даче ТСХА. — Докл. ТСХА, вып. 29.

Кротова Н.Г. 1958. Динамика усыхания сосны в насаждениях Лесной опытной дачи. — Докл. ТСХА, вып. 36.

Кротова Н.Г. 1959. Влияние задымления воздуха на сосну в Лесной опытной даче сельскохозяйственной академии им. К.А.Тимирязева и мероприятия по созданию устойчивых насаждений. Автореф. канд. дисс. М., ТСХА.

Крылов Г.В. 1961. Леса Западной Сибири. М., Изд-во АН СССР.

- Кувшинова К.В., Фельдман Я.И. 1960. Принципы климатического районирования Урала. – Зап. Уральск. филиала геогр. об-ва СССР, вып. 1 (3).
- Кузьмин М.К. 1950. Действие дыма на растительность. – Лесное хозяйство, № 6.
- Кулагин Ю.З. 1961а. Об устойчивости древесно-кустарниковых пород к действию магнезитовой пыли в районе г. Сатка. – Труды Ин-та биологии Уральского филиала АН СССР, вып. 25. Свердловск.
- Кулагин Ю.З. 1961б. Влияние промышленных дымов на леса Южного Урала и некоторые вопросы эрозии горно-лесных почв. Тезисы докладов межвузовской научно-производственной конференции по проблеме "Эрозия почв и меры борьбы с нею". Изд. Воронежск. ун-та.
- Кулагин Ю.З. 1962. О дымоустойчивости древесных растений. – Тезисы докладов первой научной сессии Уральского координационного Совета по техническим и естественным наукам. Свердловск.
- Кулагин Ю.З. 1963а. Экологическое обоснование рационального использования лиственницы Сукачева в промышленных районах Южного Урала. – Материалы Совещания по вопросам рационального использования растительных ресурсов Южного Урала, Уфа.
- Кулагин Ю.З. 1963б. Экология березы бородавчатой и березы пушистой в связи с особенностями их водного режима. – Труды Ин-та биологии Уральского филиала АН СССР, вып. 35. Свердловск.
- Кулагин Ю.З. 1964а. О газоустойчивости сосны и березы. – В сб. "Охрана природы на Урале", вып. 4. Свердловск.
- Кулагин Ю.З. 1964б. Влияние магнезитовой пыли на древесные растения. – Зап. Свердл. отд. ВБО, вып. 3. Свердловск.
- Кулагин Ю.З. 1964г. Семенное возобновление сосны и березы в промышленных районах Южного Урала. – Труды Башкирск. лесн. опыт. станц., вып. 7. Уфа.
- Кулагин Ю.З. 1964д. Газоустойчивые ассортименты деревьев и кустарников для озеленения нефтеперерабатывающих заводов Башкирии. – Уч. зап. Башкирск. ун-та, 19, Серия "Биологические науки", № 2.
- Кулагин Ю.З. 1965а. Газоустойчивость и засухоустойчивость древесных пород. – Труды Ин-та биологии Уральского филиала АН СССР, вып. 43. Свердловск.
- Кулагин Ю.З. 1965б. Эколого-физиологические свойства дуба черешчатого на Южном Урале. Там же.
- Кулагин Ю.З. 1965в. Дымоустойчивость и критические периоды древесных растений. Рефераты докладов и сообщений второго Уральского совещания по экологии и физиологии древесных растений. Уфа.
- Кулагин Ю.З. 1966а. О способности древесных растений к повторному облиственному. – Ботан. ж., 51.
- Кулагин Ю.З. 1966б. Дымоустойчивость древесных растений как экологическая проблема. – В сб. "Охрана природы на Урале", вып. 5. Уральский гос. ун-т. Свердловск.
- Кулагин Ю.З. 1966в. Водный режим и газоустойчивость древесных растений. Там же.
- Кулагин Ю.З. 1967а. Некоторые эколого-физиологические особенности древесных растений как индикаторов среды. Тезисы докладов совещания по проблемам фитоиндикации. Л.
- Кулагин Ю.З. 1967б. Выживание растительности в зоне промышленных предприятий Южного Урала. III международный симпозиум по рекультивации почв, поврежденных промышленностью. Исследовательский мелноративный институт. Прага.
- Кулагин Ю.З. 1967в. Газоустойчивость древесных растений. – Материалы совещания по изучению лесов Дальнего Востока, Владивосток.

Кулагин Ю.З. 1968. О газоустойчивости древесных растений и биологической очистке атмосферного воздуха в лесостепном Предуралье. – Материалы первой Украинской конференции "Растения и промышленная среда", Киев, изд-во "Наукова думка".

Кулагин Ю.З. 1969а. Дымоустойчивость растений и внешняя среда. – Уч. зап. Пермск. гос. ун-та, № 222, вып. 1.

Кулагин Ю.З. 1969б. К познанию природы газоустойчивости растений. Реф. докл. и сообщ. IV Уральск. научно-координац. совещ. по проблеме "Растительность и промышленные загрязнения". Свердловск.

Кулагин Ю.З. 1970. Газоустойчивость древесных растений и накопление серы в их листьях. В сб. "Охрана природы на Урале", вып. 7. Уральский гос. ун-т. Свердловск.

Кулагин Ю.З. 1971а. Некоторые особенности микроэволюции лесных деревьев. – Тезисы докл. IV Московск. совещ. по филогении. М., Изд-во МГУ.

Кулагин Ю.З. 1971б. Некоторые особенности адаптациогенеза древесных растений. Тезисы Всес. совещ. по вопросам адаптации растений к экстремальным условиям среды в северных районах СССР. Петрозаводск.

Кулагин Ю.З. 1971в. К методике определения газоустойчивости растений. – Уч. зап. Пермск. гос. ун-та, № 256.

Кулагин Ю.З. 1971 г. Преадаптации растений и антропогенные факторы. – Журнал общей биологии, 32, № 5.

Кунцевич И.П., Турчинская Т.Н. 1957. Озеленение фабрично-заводских площадок и промышленных поселков. М., Изд. Мин-ва коммун. хоз-ва РСФСР.

Кучеров Е.В., Федорако Б.М. 1964. Влияние промышленных загрязнений на растительность Башкирской АССР. – В сб. "Охрана природы на Урале", вып. 4. Свердловск.

Лобанов Н.В. 1953. Микотрофность древесных растений. М., "Советская наука".

Майр З. 1968. Зоологический вид и эволюция. М., изд-во "Мир".

Мамаев С.А. 1969. Устойчивость декоративных растений и системы озеленения территорий медеплавильных заводов Урала. Реф. докл. и сообщ. IV Уральск. научно-координац. совещ. по проблеме "Растительность и промышленные загрязнения". Уральский филиал АН СССР. Свердловск.

Мамаев С.А., Николаевский В.С. 1965. Некоторые особенности повреждаемости вредными газами проростков сосны. Реф. докл. сообщ. второго Уральск. совещ. по экологии и физиологии древесных растений. Уфа Башкирско-издат.

Марков К.К. 1960. Палеогеография, изд. 2-е., Изд-во МГУ. Материалы Первой украинской конференции "Растения и промышленная среда". 1968. Киев, "Наукова думка".

Матчанов Н.М. 1972. Важные задачи ЮНЕСКО. – Курьер ЮНЕСКО, ноябрь 1972.

Машинский Л.О. 1933. Основные вопросы зеленого строительства населенных мест. Реконструкция городов СССР, т. 1. М., изд-во "Стандартизация и рационализация".

Нелюбов Д.Н. 1900. О горизонтальной нутации у *Pisum sativum* и некоторых других растений. – Труды СПб. об-ва естествоиспыт., 31, вып. 1.

Немец А. [Nemcz A.] 1954. Гибель лесных культур на серпантинных почвах в Южной Чехии под влиянием интоксикации никелем, кобальтом и хромом. – Труды научно-исслед. ин-тов лесн. хоз-ва Чехословакии, 6.

Николаевский В.С. 1962. Эколого-физиологические исследования газоустойчивости древесно-кустарниковых пород в условиях г. Красноуральска. Докл. первой научн. конф. молодых специалистов-биологов, Свердловск.

Николаевский В.С. 1963. О показателях газоустойчивости древесных растений (по исследованиям в городе Красноуральске). – Труды Ин-та биологии Уральск. филиала АН СССР, вып. 31. Свердловск.

Николаевский В.С. 1964. Влияние сернистого ангидрида на древесные растения в условиях Свердловской области. - В сб. "Охрана природы на Урале" вып. 4. Свердловск.

Николаевский В.С. 1966. Анатомо-морфологическое строение листьев древесных растений в связи с их газоустойчивостью. - Зап. Свердловск. отд. ВБО, вып. -4.

Николаевский В.С. 1967. Газоустойчивость местных и интродуцированных древесных растений в условиях Свердловской области. - Труды Ин-та экологии растений и животных УФАИ СССР, вып. 54. Свердловск.

Николаевский В.С., Подикова В.Н., Фиргер В.В., Миршников А.Т., Сулова В.В., Галеева В.П. 1971. Влияние анатомо-морфологического строения листьев и биологических особенностей декоративных растений на поглощение  $S^{35}O_2$  и газоустойчивость. - Уч. зап. Пермск. гос. ун-та, № 256.

Носырев В.И. 1962. Вредное воздействие магнезитовой пыли на древесную растительность. - Лесное хозяйство, № 1.

Обыденный П.Т. 1971. Сравнительное влияние некоторых элементов питания на состояние растений в условиях загрязненного воздуха. - Уч. зап. Пермск. гос. ун-та, № 256.

Подзоров Н.В. 1961. Причины массового усыхания сосны и ели в Охтинской лесной даче. - Изв. высших учебных заведений. Лесной журнал, № 2.

Постановление Верховного Совета СССР "О мерах по дальнейшему улучшению охраны природы и рациональному использованию природных ресурсов". Сентябрь 1972 г. Москва.

Растения и промышленная среда. Сборник научных работ кафедры ботаники Уральского ун-та. 1964. Свердловск.

Растения и промышленная среда. - Учен. зап., № 94. Серия биологическая, вып. 5. Уральский ун-т. 1970. Свердловск.

Рябинин В.М. 1962. Влияние промышленных газов на рост деревьев и кустарников. - Ботан. ж., 47, № 3.

Рябинин В.М. 1965. Лес и промышленные газы. М., изд-во "Лесная промышленность".

Рязанов В.А. 1954. Санитарная охрана атмосферного воздуха. М., Медгиз.

Рязанов В.А. 1957. Новые данные по экспериментальному обоснованию предельно допустимых концентраций атмосферных загрязнений. - В сб. "Предельно допустимые концентрации атмосферных загрязнений", № 3.

Рязанов В.А. 1959. Загрязнение атмосферного воздуха населенных мест и его влияние на здоровье и санитарные условия жизни населения. Лекция 12. М., Медгиз.

Сабашников В. 1911а. Влияние дегтярных испарений на растительность. - Болезни растений, № 1-2.

Сабашников В. 1911б. Влияние каменноугольного дыма на окружающую растительность. - Болезни растений, № 3-4.

Санников С.Н. 1961. Естественное возобновление сосны и меры содействия ему в Припышминских борах. Свердловск.

Седашева Г.Я. 1957. К вопросу о росте дуба в культурах. - Труды Башкирск. с.-х. ин-та, т. 8. Уфа.

Седашева Г.Я. 1960. Состояние и задачи охраны зеленых насаждений в населенных пунктах Башкирии. - В сб. "Состояние и задачи охраны природы в Башкирии" (Материалы первой научной конференции по охране природы Башкирии). Уфа.

Сергеев Л.И., Сергеева К.А., Мельников В.К. 1961. Морфо-физиологическая периодичность и зимостойкость древесных растений. Уфа. Изд. Ин-та биологии Башкирск. филиала АН СССР.

Серебряков И.Г. 1962. Экологическая морфология растений. Жизненные формы покрытосеменных и хвойных. М., изд-во "Высшая школа".

Сидоренко И.Д. 1970. О влиянии загазирования атмосферы на физиолого-биохимические процессы у древесных растений. Тезисы докл. III Уральского совещ. по физиологии и экологии древесных растений. Уфа.

Ситникова А.С. 1964. Особенности процесса фотосинтеза и некоторых других процессов в связи с газо-дымоустойчивостью древесных и кустарниковых пород. - В сб. "Охрана природы на Урале", вып. 4, Свердловск.

Ситникова А.С. 1966. Об изучении физиологических показателей древесных и кустарниковых пород в связи с газо-дымоустойчивостью. - В сб. "Охрана природы на Урале", вып. 4, Свердловск.

Соколов С.Я. 1947. Декоративные свойства древесных пород с основами их биологии. - В сб. "Садово-парковое хозяйство". Лениздат.

Соколов С.Я. 1957. Современное состояние теории акклиматизации и интродукции растений. - Труды БИН, серия 6, вып. 5.

Сукачев В.Н. 1931. Руководство к исследованию типов леса, изд. 3-е. М.-Л., Сельхозгиз.

Сукачев В.Н. 1938. Дендрология с основами лесной геоботаники. Л., Гослестехиздат.

Тарабрин В.П., Панов Н.М., Рубцов А.Ф., Тетенева Т.Р., Чернышева Л.В., Шапкая Р.М. 1968. Устойчивость и водный режим древесных растений. Материалы Первой украинской конференции "Растения и промышленная среда". Киев, "Наукова думка".

Тарабрин В.П., Махагонов В.М., Хонахбеев В.И., Чернышева Л.В. 1969. Влияние выбросов промышленных предприятий на состояние воздушного бассейна и растительность в Донбассе. Рефераты докладов и сообщений IV Уральского научно-координационного совещания по проблеме "Растительность и промышленные загрязнения". Свердловск.

Тарчевский В.В. 1959. Основные направления и задачи изучения растительности в районах расположения промышленных предприятий. - Уч. зап. Уральского гос. ун-та им. А.М.Горького, вып. 32, Свердловск.

Тарчевский В.В. 1964. Влияние дымо-газовых выделений промышленных предприятий Урала на растительность. - В сб. "Растения и промышленная среда". Свердловск.

Терешин Ю.А., Ячменева З.Г. К вопросу о роли разновозрастной хвой в формировании приростов сосны в различных экологических условиях Ильменского заповедника. - В сб.: "Доклады первой научной конференции молодых специалистов-биологов". Ин-т биологии Уральск, филиала АН СССР, Свердловск.

Тимофеев В.П. 1957. Причины усыхания хвойных лесов Подмоскovie и мероприятия по их восстановлению. - Доклады ТСХА, вып. 29.

Тимофеев-Ресовский В.Н., Воронцов Н.Н., Яблоков А.В. 1969. Краткий очерк теории эволюции. М., изд-во "Наука".

Томас М.Д. 1962. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на растения. - В сб. "Загрязнение атмосферного воздуха". Всемирная организация здравоохранения. Женева.

Углов В.А. 1934. Борьба с пылью, дымами и газами в населенных пунктах. М., Медгиз.

Фальковский П. 1928. Роль хвой разного возраста в образовании прироста у сосны. - Лесное хоз-во и лесная пром-сть, № 5-6.

Фильрозе Е.М. 1961. Закономерности естественного возобновления в лесах Ильменско-Вишневогорского лесорастительного района. - Труды Ин-та биологии Уральск, филиала АН СССР, вып. 25, Свердловск.

Фогль М., Бертитц С., Полстер Г. 1970. Физиологические и биохимические исследования поврежденных хвойных деревьев сернистым газом. - В сб. "Растительность и промышленные загрязнения". Свердловск.

Фортунатов И.К. 1958. Критический обзор американских работ по влиянию промышленных дымов и газов на лес. - Докл. ТСХА, вып. 36. Хроника

ЮНЕСКО – март 1972. О новой программе ЮНЕСКО "Человек и биосфера". – Курьер ЮНЕСКО – март 1972.

Чубарян Т.Г., Кеворкова Л.В. 1960. Влияние карбонатности и реакции почвы на жизнедеятельность и рост сеянцев некоторых хвойных. – Докл. АН АрмССР, 31, вып. 3.

Шаблюковский В.В., Красинский Н.П. 1950. Повреждения зеленых насаждений дымовыми отходами на промплощадках цветной металлургии. – В сб. "Дымоустойчивость растений и дымоустойчивые сортаменты". Горький–М., Изд. Горьковск. гос. ун-та и Акад. коммунал. хоз-ва им. К.Д.Памфилова.

Шахов Г.А. 1932. Металлургия меди и никеля. М.–Л., Цветметиздат СССР.

Шварц С.С. 1969. Эволюционная экология животных. – Труды Ин-та экологии растений и животных Уральск. филиала АН СССР, вып. 6. Свердловск.

Шенников А.П. 1950. Экология растений. М., изд-во "Сов. Наука".

Шмальгаузен И.И. 1968. Факторы эволюции. М., "Наука".

Шербаков А.П. 1951. Минеральное питание сеянцев древесных пород как фактор их роста и развития. – В сб. "Научные основы полезайитного лесоразведения", вып. 1. М., Изд-во АН СССР.

Ярошенко П.Д. 1961. Геоботаника. М.–Л., Изд-во АН СССР.

Bu blin e s E. 1971. Vplyv exhalátov z magnezitiek na reakciu pôdy a Výživa lesných drevin. Lesnický časopis. Ročník 17, Číslo 1. Výskumný ústav lesného hospodárstva, Zvolen.

F e r d a J. 1953. Odolnost lesnich dřevin proti kouřovým plynům. Lesn. práce, 32, N 10.

Lampadius F., Enderlein H. 1961. Das Rauchschaengebiet Schwarza in Thüringen Einführung in die Exkursion am 27 Mai 1961. Teil 1–2 – "Wiss. z. Techn. Dresden", 11, N 3.

Marshall W.H., Schantz–Hansen T., Winsness K.E. 1955. Effects of simulated overbrowsing on small red and white pine trees. – J. Forestry, 53, N 6.

Materna J. 1960. Forstliche Maßnahmen zur Erfassung und Verhütung von Waldrauchschäden in tschechischen Teil der Erzgebirges. – "Forstund Holzwirt", 15, N 13.

Materna J. 1962. Auswertung von Düngungsversuchen im rauchgeschädigten Fichtenbeständen. – "Wiss. z. Techn. Univ. Dresden", 11, N 3.

Müller T. 1962. Die Luftverunreinigung in den schweizerischen Städten. – "Indust. Organ.", 31, N 11.

Palmiter D.H., Roberts E.A., Southwick M.D. 1946. Apple leaf structure in relation to penetration by spray solutions. Phytopathol., 36, N 8.

Papp L. 1962. A káros légszennyezödések hatása az erdőre. – Endo, 11, N 10.

Pešek F. 1962. Poškození lesnich porostů v oblasti krušných hor námrazou jako důsledek zvýšeného množství průmyslového prachu tvořícího kondenzáční jádra v ovzdu i. Lesnictvi, 8, N 12.

Pisut I. 1962. Bemerkungen zur Wirkung der Exhalations producte auf die Flechtenvegetation in der Umgebung von Rudňany (Nordostslowakei). – Biologia (CSSR), 17, N 7.

Roberts E.A., Southwick M.D., Palmiter D.H. 1948. A microchemical examination of McIntosh apple leaves showing relationship of cell wall constituents to penetration of spray solutions. – Plant Physiol., 23, N 4.

Schroeder I., Reuss B. 1883. Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch und die Oberharzer Hüttenrauchschaden. Berlin.

Thomas M.D., Hendricks R.H., Hill L.R. 1944. Some chemical reactions of sulphur dioxide after absorption by alfalfa and sugar beets. – Plant Physiology, 19, N 2.

Tesař V. 1962. Škody působené lesnima hospodárstvi kouřovými exhalacemi na Trutnovsku. – Lesnictvi, 8, N 11.

Turunaru V., Bindiu C. 1962. Cercetări privind influența defolierilor asupra proceselor de creștere și transpirație la stejarul pedunculat (Quercus robur L.), – Studii și cercetări biol. Acad. RPR. Ser. biol. veget., 14, N 1.

Wentzel K.F. 1956. Winterfrost 1956 und Hauchschäden. Allgem. Forstzeitschrift, 11, N 49.

Wentzel K.F. 1959. Zur Bodenbeeinflussung durch industrielle Luftverunreinigungen und Düngung in Rauchscha denslagen insbesondere mit Kalk. Forst und Holzwirt, 14, N 8.

Wieler A. 1912. Pflanzenwachstum und Kalkmangel im Boden. Berlin.

Zahn R. 1963. Über den Einfluß verschiedener Umweltfaktoren auf die Pflanzenempfindlichkeit gegenüber Schwefeldioxyd. - Z. Pflanzenkrankh. und Pflanzenschutz, 70, N 2.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	3
Глава I. Проблема озеленения и лесовосстановления в индустриальных центрах . . . . .	5
Глава II. Устойчивость древесных растений к промышленным дымовым выбросам как экологическая проблема. . . . .	10
Критический обзор литературы. . . . .	10
Преадаптационная концепция устойчивости растений к антропогенным факторам и классификация основных форм газоустойчивости древесных растений . . . . .	27
Глава III. Газоустойчивость древесных растений в связи с условиями внешней среды . . . . .	36
О повреждаемости листьев двуокисью серы в зависимости от внешних условий . . . . .	36
О газоустойчивости древесных растений в связи с их водным режимом и засухоустойчивостью	39
О способности древесных растений к повторному облиствению и критических периодах. . . . .	46
Выводы . . . . .	52
Глава IV. Газоустойчивость древесных растений на территории нефтеперерабатывающих заводов . . . . .	54
О газоустойчивости деревьев и кустарников на территории нефтеперерабатывающих заводов . . . . .	55
О газопоглощительной способности листьев древесных растений . . . . .	66
Выводы . . . . .	72
Глава V. Двуокись серы и лесообразующие виды . . . . .	73
Состояние и динамика лесов . . . . .	73
О газоустойчивости сосны и березы. . . . .	91
Об изменениях почв под влиянием двуокиси серы . . . . .	98
Выводы . . . . .	100
Глава VI. Окись магния и лесообразующие виды . . . . .	102
Состояние и динамика лесов . . . . .	102
Влияние магнетитовой пыли на листья древесных растений . . . . .	104
Влияние окиси магния на почву и сеянцы лесных деревьев . . . . .	107
Выводы . . . . .	110
Общие выводы . . . . .	112
Литература . . . . .	116

Юрий Захарович Кулагин

**ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ СРЕДА**

Утверждено к печати

Институтом биологии

Башкирского филиала Академии наук СССР

Редактор издательства Е.К. Исиев

Художник Э.Л. Эрман

Художественный редактор С.А. Литвак

Технические редакторы: В.И. Дьяконова, Г.П. Каренина

Подписано к печати 25/У-74г.Т - 06078

Усл.печ.л. 8,0. Уч.-изд.л. 9,12

Формат 60 x 90 1/16. Бумага офсетная № 1.

Тираж 1600 экз. Тип. зак.1012.

Цена 91 коп.

Книга издана офсетным способом

Издательство "Наука", 103717 ГСП.

Москва, К-62, Подсосенский пер., 21

1-я типография издательства "Наука"

199034, Ленинград, В-34, 9-я линия, 12