

А. А. Сергейчик, С. А. Сергейчик,

Центральный ботанический сад НАН Беларуси, г. Минск

**ВЛИЯНИЕ ТОКСИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ
ТЕХНОГЕННЫХ ЭМИССИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ
ХВОЙНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД БЕЛАРУСИ**

Леса — мощный средостабилизирующий компонент биосферы, важнейший источник сырьевых и пищевых ресурсов — в XXI в. во многих регионах мира оказались у опасной черты деградации и уничтожения. Проблема сохранения и защиты лесов в условиях техногенеза является важнейшей для обеспечения устойчивого развития биосферы Земли. Негативные тенденции в динамике структуры лесов Европы связаны с возрастающим воздействием техногенных факторов, аномальными климатическими и погодными явлениями. Это отчетливо прослеживается на примере Беларуси, где обеспечение устойчивого функционирования лесов является одной из важнейших народнохозяйственных задач.

Важным фактором нарушения функционального состояния лесов Беларуси является загрязнение атмосферного воздуха химическими отходами промышленных объектов. Ежегодно в воздушный бассейн

республики из техногенных источников поступает около 2,5 млн т газообразных токсикантов, среди которых доминируют диоксид серы и оксиды азота. Растения проявляют высокую чувствительность к загрязнителям атмосферы в связи с автотрофным характером метаболизма. С каждым годом возрастает потребность в количественной и качественной информации о влиянии загрязнителей атмосферы на состояние лесных экосистем как основе для предупреждения экологически опасных ситуаций и разработки прогнозов динамики лесов.

На современном этапе умеренные дозы аэротехногенных поллютантов захватывают обширные территории и представляют для устойчивости лесов значительную опасность. Раскрытие механизмов токсического действия хронического загрязнения атмосферного воздуха на функциональное состояние лесов и разработка критериев ранней диагностики повреждения лесообразующих пород в техногенной среде на основе высокочувствительных физиолого-биохимических методов исследования относятся к числу приоритетных задач теоретической и прикладной экологии.

На основе широкомасштабных эколого-физиологических исследований устойчивости ассимиляционного аппарата хвойных лесообразующих пород Беларуси — сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) Karst.) — на 80 пунктах Национальной сети мониторинга лесов в зонах распространения токсических эмиссий Новополоцкого НПК, Гродненского ПО “Азот” и на контрольных территориях Березинского биосферного заповедника и Национального парка “Беловежская пуца” разработана концепция экологической опасности для функционального состояния и стабильности хвойных лесов Беларуси умеренных доз загрязнения воздуха токсическими газами в диапазоне концентраций “предельно допустимые — фоновые”.

Установлено, что хроническое загрязнение атмосферного воздуха токсическими эмиссиями промышленных объектов городов Гродно и Новополоцк (преимущественно диоксидом серы, оксидами азота, углеводородами, аммиаком) нарушает структурно-функциональное состояние ассимиляционного аппарата сосновых и еловых насаждений задолго до появления визуально различимых симптомов повреждения в виде хлорозов и некрозов. Это проявляется в существенном снижении концентрации каротиноидных пигментов, редукции белков, уменьшении буферной емкости цитоплазмы, активизации пероксидазной и полифенолоксидазной активности тканей, ингибировании первичных световых реакций фотосинтеза (активности реакции Хилла, циклического и нециклического фотофосфорилирования), нарушении энергообмена, уменьшении индекса $P/2e$, характеризующего степень сопряженности тока электронов в электронно-транспортной цепи хлоропластов с реакциями фотофосфорилирования, повышении уровня аккумуляции серы в хвое за счет ее поглощения из атмосферного воздуха, дисбалансе накопления пулов макро- и микроэлементов, кислоторастворимых и кислотонерастворимых фосфорных соединений, белкового и небелкового азота, хлорофилла и каротиноидов.

Согласно полученным данным, в органах ассимиляции исследуемых хвойных лесообразующих пород в зонах распространения серосодержащих эмиссий Новополоцкого НПК накапливается значительно больше серы, чем на контрольной территории Березинского биосферного заповедника. Аккумуляция серы в 2-летней хвое сосны и ели находится в пределах 0,117—0,190 % за счет поглощения газообразных сернистых токсикантов из атмосферного воздуха детерминирует снижение устойчивости хвойных пород в техногенной среде.

Загрязнение атмосферного воздуха негативно влияет на ключевые показатели азотного обмена хвои сосны и ели задолго до появления визуально различимых симптомов повреждения. Это выражается в изменении содержания общего азота, подавлении синтеза белков, активизации протеолитических ферментов, резком возрастании количества азотсодержащих небелковых соединений, нарушении соотношения фракций белкового, небелкового азота, свободных аминокислот. Нарушение азотного обмена органов ассимиляции сосны и ели выражено тем в большей мере, чем выше уровень загрязнения воздуха и ближе расстояние к источнику эмиссии. Так, на расстоянии 2 км от Новополоцкого НПК среднесезонное содержание общего азота в 2-летней хвое сосны обыкновенной уменьшается на 24 % относительно контроля. Уровень белкового азота падает на 35 %, а уровень небелкового азота существенно возрастает (на 68 %). Соотношение фракций белкового и небелкового азота составляет 3,26 против 8,22 в контроле. Увеличивается гидролитическая направленность протеиназ — 276 % относительно контрольного варианта. Аналогичная закономерность трансформации азотного обмена характерна и для ели обыкновенной, но с меньшей амплитудой изучаемых показателей. Загрязнение воздуха детерминирует возрастание накопления свободных аминокислот в хвое изучаемых объектов. В хвое сосны опытных стационаров содержание цистеина увеличилось в 2,2 раза, а метионина — более чем в 21 раз. Увеличение пула серосодержащих ами-

нокислот может быть связано с поглощением, метаболизацией и детоксикацией диоксида серы. Под влиянием аэротехногенных поллютантов значительно возрастает накопление гетероциклических аминокислот и пролина. Строение молекулы пролина определяет ее высокую гидрофильность, что способствует повышению осмотически связанной воды в клетках. Увеличение содержания пролина может быть также результатом гидролиза белков, что сопровождается выделением аммиака, глутаминовой и других аминокислот. На территории Новополоцкого НПК суммарное содержание аспарагиновой и глутаминовой аминокислот в 7,5 раза превышает контрольный уровень. Содержание их амидов — аспарагина и глутамина — возрастает при этом в 10—12 раз, что может иметь защитное значение.

Токсические газы, проникая в клетки растений, вызывают сильную активизацию цепных свободнорадикальных окислительных процессов и образования перекисей, повреждающих клеточные мембраны. Для приостановки неконтролируемого производства клеткой свободных радикалов служит пул сборщиков — естественных антиоксидантов. Ряд ферментов (супероксиддисмутаза, каталаза и пероксидаза) обеспечивает прямое обезвреживание интермедиатов кислорода. Они сводят к минимуму концентрацию супероксидного радикала, перекиси водорода и синглетного кислорода в клетках и существенно уменьшают образование наиболее токсичного радикала *ОН, т. е. тормозят реакцию Габера — Вейсса. Нами обнаружено значительное увеличение активности пероксидазы в хвое сосны и ели (на 300—600 %) на загрязненной территории (по сравнению с контрольными образцами хвои из контрольных фитоценозов Беловежской пуши и Березинского биосферного заповедника).

Фотосинтетический аппарат клеток высоко чувствителен к газообразным токсикантам, которые могут нарушать световую и темновую стадии фотосинтеза, воздействуя на состояние пигментов, активность ферментов, электронно-транспортную цепь и ламеллярную структуру гран. Большинство газообразных токсикантов после поглощения их клетками локализуются в хлоропластах, вызывая нарушение первичных световых реакций и депрессию фотосинтеза, деградацию пигментов, нарушение процессов энергообмена.