

И.И. Коршиков, А.А. Игнатенко, Е.Н. Виноградова

СОДЕРЖАНИЕ АЗОТА В ЛИСТЬЯХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ – ИНДИКАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭМИССИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ХИМКОМБИНАТА ПО ПРОИЗВОДСТВУ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

азотсодержащие промвыбросы, древесные растения, повреждаемость листьев, изменения в азотном обмене, фитоиндикация

На территории Донбасса сосредоточено значительное количество крупных промышленных предприятий по термической переработке угля, нефти, газа и металлосодержащих руд. Эти энергоемкие производства, как правило, снабженные несовершенными устаревшими системами пыле- и газоулавливания, выбрасывают в атмосферу в значительных количествах вредные и токсичные для биоты вещества. Интенсивность поступления этих веществ в атмосферу в районах функционирования промышленных производств заметно превышает ее способность к самоочистке. Вследствие этого повреждаются растения, произрастающие как на промплощадках, так и нередко далеко за их пределами, в зонах рассеивания выбросов. Несовершенный санитарный контроль загрязненности атмосферы не предусматривает учета негативного влияния эмиссионных воздействий на элементы биоты [4]. В связи с этим возникает постоянная потребность в индикационном контроле за повреждаемостью растений на территориях промышленных предприятий и в зонах распространения их выбросов. Такие наблюдения необходимы для более точного определения объема предельно допустимых выбросов каждого функционирующего предприятия.

Газоустойчивость растений в основном определяется теми защитными механизмами, которые вид вырабатывал в ходе эволюции, приспособляясь к неблагоприятным природно-климатическим условиям [6]. В силу этого разные виды изначально обладают неодинаковой толерантностью к новому локально действующему лимитирующему фактору среды – аэротехногенному загрязнению. По этой причине наиболее газоустойчивые виды мало пригодны для мониторинга загрязненности атмосферы промышленными газами. Для этих целей лучше использовать виды, отличающиеся повышенной чувствительностью к действию токсичных газов и аэрозолей, как показывают результаты этих и других наших исследований [4, 6, 8]. Степень пригодности каждого вида для индикационных целей точнее можно устанавливать, исследуя его повреждаемость в сравнении с другими видами растений в конкретных условиях произрастания в загрязненной среде промышленными выбросами. Результаты лабораторных опытов по фумигации облиственных изолированных побегов древесных растений токсичными газами или парами веществ, входящими в состав промышленных выбросов, не всегда можно использовать в практике полевых наблюдений. В условиях промышленных производств на растения действует динамичная смесь токсичных веществ и аэрозолей, на которые часто накладываются еще и неблагоприятные природно-климатические факторы. Устойчивость вида в этих условиях может быть неадекватной той, что получена в контролируемом лабораторном эксперименте. При выборе конкретного вида для индикационных целей надо учитывать и тот факт, что этот вид, если он интродуцент, должен быть акклиматизированным к условиям степной зоны. Сильно ослабленные от повреждающих воздействий аэрополлютантов растения быстро погибают в неблагоприятные по климатическим условиям годы [4, 6].

Для биоиндикации негативного и повреждающего воздействий аэрополлютантов наиболее часто в качестве тест-объектов используют древесные растения. Поскольку многие виды

древесных растений более чувствительны к воздействиям аэрополлютантов, чем травянистые растения, то и в степной зоне Украины они остаются наиболее приемлемыми объектами для мониторинга загрязненности атмосферы промышленными выбросами [4, 8]. В Донбассе это, как правило, искусственные насаждения интродуцентов. Зеленые насаждения на предприятиях нередко создаются стихийно в процессе озеленения отдельных территорий, цехов и участков. При этом часто используется случайный ассортимент растений, который имеется в наличии в ближайших от промышленного предприятия лесопитомниках. По причине неоднородности видового, структурного и возрастного состава создаваемые на промплощадках и прилегающих к ним территориях крупных промышленных производств зеленые насаждения достаточно сложно использовать в фитоиндикационных исследованиях. Однако границы негативного воздействия эмиссий промышленных предприятий все же определяют на основе анализа состояния имеющихся насаждений на их территориях и в районах рассеивания выбросов [4]. Доступный широкому кругу исследователей метод визуальных оценок наиболее часто используется в практике таких полевых наблюдений [1, 3, 4, 8, 9]. Для ранней диагностики, а также более точного определения границ негативных воздействий аэрополлютантов лучше использовать показатели, характеризующие степень физиолого-биохимических изменений в листьях вегетирующих растений [4].

Цель наших исследований – индикационное определение видовых особенностей повреждения и физиолого-биохимических изменений в листьях древесных растений, произрастающих на промплощадке одного из крупнейших в Европе химкомбинатов по производству азотных удобрений.

В течение двух вегетационных сезонов проводили визуальное наблюдение за состоянием всех 43 обнаруженных видов древесных растений в насаждениях на промплощадке Северодонецкого производственного объединения (СПО) “Азот”. Так как в выбросах этого комбината доминируют азотсодержащие газы и аэрозоли, то интересными представлялись исследования изменений азотного обмена в листьях отдельных видов растений. Для этих исследований были выбраны три наиболее распространенные в насаждениях на территории комбината вида – это белая акация (*Robinia pseudoacacia* L.), клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) и тополь черный (*Populus nigra* L.). Физиолого-биохимические исследования проводились с этими растениями в трех насаждениях, примыкающих к цехам с преимущественным выбросом окислов азота (точка I), аммиака (точка II), аммиака и пылью с высоким содержанием сульфата аммония (точка III). В качестве контрольных использовали близкие по возрасту растения, произрастающие за пределами города с подветренной стороны по отношению к СПО “Азот”. Содержание общего азота в листьях растений определяли по методу Кьельдаля [5], белкового – по Б. П. Плешкову [7], а небелкового – по разности между общим и белковым. В фиксированных при 105 °С листьях, отобранных с растений также определяли содержание свободных аминокислот методом бумажной хроматографии [2].

Виды, входящие в состав насаждений СПО “Азот”, различались по степени устойчивости к выбросам этого химкомбината. При этом повреждаемость растений зависела от месторасположения их относительно доминирующего источника выбросов. Так, например, у растений, расположенных в 200-х метрах с наветренной стороны от источника выбросов окислов азота, листья заметно повреждены, и к середине вегетации приобретали коричневый цвет из-за развития некрозов. У произрастающих с подветренной стороны растений того же вида отмечены на листьях в этот период лишь точечные некротические пятна белого цвета. Подобные отличия в повреждаемости растений одного вида наблюдались и вблизи других цехов СПО “Азот”. Разная степень повреждаемости растений одного вида вокруг источника загрязнения связана с условиями рассеивания выбросов.

Отчетливо прослеживаются видовые отличия в характере повреждения древесных растений. Если у устойчивых видов повреждаются в основном листья, то у менее стойких видов отмирают и ветви различного порядка. Поэтому у неустойчивых видов встречается много сухих ветвей, а сама крона разрежена. У некоторых неустойчивых видов отмечено усыхание поврежденных листьев, молодых побегов и появление из почек возобновления “ивановых” побегов. Это приводит к развитию нетипичной для вида малообъемной уродливо-шаровидной формы кроны. У отдельных видов растений в течение вегетации несколько раз опадают сильно поврежденные листья и вырастают новые. Наиболее угнетенными растения были в середине вегетации, когда действие промышленных загрязнителей усугубляется неблагоприятными погодными условиями – высокой температурой воздуха и почвенной засухой.

Растения, произрастающие во второй точке наблюдений, у источника выбросов аммиака, повреждались меньше, чем растения, подверженные воздействию окислов азота (точка I). В третьей точке наблюдений повреждения растений носили локальный характер в основном на тех участках, где пыль с сульфатом аммония попадает на их кроны. На основе визуальных наблюдений за повреждаемостью древесных растений можно сделать вывод, что качественный и количественный состав ингредиентов загрязнения приземного слоя воздуха на промплощадке СПО “Азот” крайне неоднороден. Видовая неоднородность насаждений и гетерогенность индивидуальных реакций растений на эмиссионные воздействия в пределах одного насаждения затрудняют проведение биоиндикационных исследований на территории этого химкомбината как и других промышленных производств степной зоны Украины, а также в зонах рассеивания их выбросов [4].

Обобщая результаты наших двухлетних наблюдений за повреждаемостью 43-х видов древесных растений на промплощадке СПО “Азот” можно заключить, что для визуального мониторинга загрязненности воздуха приемлемы 6 чувствительных видов: клен ясенелистный, каштан конский обыкновенный (*Aesculus hippocastanum* L.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), ясень зеленый (*Fraxinus lanceolata* Borkh.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.), шелковица белая (*Morus alba* L.).

Известно, что повреждения ассимиляционных органов растений – результирующий итог нарушений или деструктивных изменений в их метаболизме. Однако визуально проявляемые признаки, если это не ожоги, не являются оперативной реакцией на поступление в клетки листьев растений токсичных веществ. Первичные изменения на экзогенное поступление чужеродных веществ происходят на физиолого-биохимическом уровне [6]. По этой причине в листьях трех видов древесных растений, произрастающих на территории СПО “Азот” и за городом, определяли содержание общего, белкового и небелкового азота, а также сумму свободных аминокислот. В таблице приведено превышение (%) содержания форм азота и аминокислот в листьях заводских растений в сравнении с листьями контрольных загородных растений.

Максимальное превышение содержания общего азота в листьях заводских растений в сравнении с загородными составляло для клена ясенелистного 1,85 раза, для тополя черного – 1,8 раз и для белой акации – 1,53 раза. Близкий к этому уровень различий в листьях опытных и контрольных растений отмечен и в отношении содержания белкового азота. Если учесть, что по уровню загрязненности воздуха выделенные точки наблюдений на промплощадке СПО “Азот” отличаются в несколько раз, а в отдельных случаях (залповые выбросы, аварии) и десятки раз в сравнении с загородным контрольным участком, то показатели содержания общего и белкового азота в листьях растений малопригодны для индикационных целей загрязненности атмосферы азотсодержащими газами и аэрозолями. Изучаемые нами три вида растений, произрастают у трех источников с доминантными выбросами окислов азота, аммиака и пыли

Таблица. Относительное содержание различных форм азота и суммы свободных аминокислот в листьях древесных растений на промплощадке Северодонецкого производственного объединения "Азот" по сравнению с контрольными растениями загородного участка, %

Точка произрастания растений на промплощадке	Общий азот			Белковый азот			Небелковый азот			Сумма свободных аминокислот		
	май	июль	сентябрь	май	июль	сентябрь	май	июль	сентябрь	май	июль	сентябрь
Клен ясенелистный												
I	185	166	161	77	125	172	678	503	216	230	299	214
II	121	121	113	133	102	95	65	263	202	358	169	109
III	145	158	170	139	122	92	172	447	562	214	97	71
Тополь черный												
I	128	163	138	106	146	138	357	243	190	203	667	99
II	118	160	180	116	150	138	168	210	705	230	281	315
III	94	175	148	96	181	139	432	145	265	295	285	125
Белая акация												
I	86	141	153	97	144	167	53	125	108	83	114	225
II	120	90	138	114	90	166	162	88	52	108	85	180
III	107	117	141	105	119	159	112	962	82	105	115	168

с сульфатом аммония, однако отчетливой специфики в связи с этим в изменении содержания общего и белкового азота в их листьях не прослеживается. По этой причине эти показатели также малоприемлемы для индикации загрязненности воздуха выбросами СПО “Азот”.

Содержание небелкового азота в листьях тополя черного и клена ясенелистного во всех трех точках наблюдений на промплощадке химкомбината, как правило, в несколько раз превышало его содержание в листьях загородных растений. Максимально обнаруженное превышение составило для клена ясенелистного 6,78 раза, а для тополя черного 7,05 раза. В листьях белой акации содержание небелкового азота, за исключением одного отбора в третьей точке, было либо ниже, либо на уровне контрольных растений. Изменения пула свободных аминокислот в листьях растений, произрастающих на территории химкомбината, носили неоднозначный характер. У двух видов заводских растений в первой половине вегетации суммарный пул свободных аминокислот, как правило, повышался, а к концу вегетации снижался в сравнении с контрольными растениями. У заводских растений акации белой суммарное содержание свободных аминокислот в листьях, наоборот, возрастало в конце вегетации. Из анализа результатов, приведенных в таблице, очевидно, что из трех изучаемых нами видов белая акация наименее приемлема в качестве тест-объекта для индикации загрязненности воздуха выбросами СПО “Азот”.

Таким образом, из исследуемых показателей азотного обмена только содержание небелкового азота и сумму свободных аминокислот в листьях клена ясенелистного и тополя черного в определенной степени можно использовать для индикационных целей реакции растений на загрязнение воздуха выбросами СПО “Азот”. Однако специфика изменений этих показателей, в зависимости от типа загрязняющих веществ, прослеживается довольно слабо. Надо также подчеркнуть, что изученные нами показатели недостаточно оперативно отражают реакцию растений на изменения уровня загрязненности воздуха.

В целом, индикация загрязненности атмосферы на основе анализа физиолого-биохимических изменений в листьях древесных растений сопряжена с рядом методических проблем, что подтверждают результаты этих и других наших исследований [4, 6, 8]. Для этого необходимо определять не только степень чувствительности отдельных метаболических звеньев на экзогенное поступление в клетки ассимиляционных органов чужеродных веществ, но и выяснить оперативность и диапазон этих изменений в зависимости от содержания загрязняющих веществ в атмосфере. При этом надо учитывать специфику флуктуирующих изменений активности функциональных систем растения в ходе вегетации, связанную с их происхождением, возрастом и условиями выращивания: наличие полива, близость залегания грунтовых вод, различия в степени нарушенности почвы и т.д. На растения в ходе их вегетации аэрополлютанты действуют с разной степенью интенсивности в силу изменения погодных условий и турбулентных потоков в атмосфере. По этой причине у древесных растений в районах рассеивания выбросов промышленных производств фактически проявляются эффекты действия и последствия аэрополлютантов. Это обстоятельство необходимо обязательно брать во внимание, особенно при исследовании физиолого-биохимических изменений в ассимиляционных органах растений. Кроме того, в этих исследованиях необходимо учитывать и функциональную неоднородность растений, обусловленную их генетическими различиями. В связи с этим, в фитоиндикационных исследованиях предпочтение должно отдаваться растениям, размножаемым вегетативным путем, а лучше всего для этого использовать клоны генетически однородных растений, выращенных в контейнерах. Это может существенно повысить как оперативность, так и точность фитомониторинга за загрязненностью воздуха промышленными эмиссиями.

1. *Алексеев В.А.* Чувствительность растений и стандарты на загрязнение атмосферы // *Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение.* – Л.: Наука, 1990. – С. 33–38.
2. *Андреева Т.Ф., Осипова О.П.* Количественное определение свободных и связанных аминокислот листьев при помощи хроматографии на бумаге // *Методика количественной бумажной хроматографии сахаров, органических кислот и аминокислот у растений.* – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 59–65.
3. *Биоиндикация загрязнений наземных экосистем /* Под ред. Р. Шуберта. – М.: Мир, 1988. – 350 с.
4. *Взаимодействие растений с техногенно загрязненной средой. Устойчивость. Фитоиндикация. Оптимизация.* / И.И. Коршиков, В.С.Котов, И.П. Михеенко и др. – Киев: Наук.думка, 1995. – 191 с.
5. *Иконникова М.И., Ермаков А.И.* Определение белковых и других исследований растений // *Методы биохимического исследования растений /* Под ред. А.И. Ермакова. – Л.: Колос, 1972. – С. 263–318.
6. *Коршиков И.И.* Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды. – Киев: Наук. думка, 1996. – 238 с.
7. *Плешков Б.П.* Практикум по биохимии растений. – М.: Колос, 1976. – 255 с.
8. *Фитотоксичность органических и неорганических загрязнителей /* В.П.Тарабрин, Е.Н Кондратюк, В.Г. Башкатов и др. – Киев: Наук. думка, 1986. – 216 с.
9. *Ярмишко В.Т.* Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. – СПб.: Изд-во НИИ химии С.-Петербургского гос. ун-та, 1997. – 210 с.

Донецкий ботанический сад НАН Украины

Получено 13.01.2003

УДК 628.5: 634.948 (477.60)

Содержание азота в листьях древесных растений и их повреждаемость – индикационные показатели эмиссионных воздействий химкомбината по производству азотных удобрений / И.И. Коршиков, А.А.Игнатенко, Е.Н Виноградова // *Промышленная ботаника.* – 2003. – Вып. 3. – С. 120–125.

Проведены двухлетние наблюдения за повреждаемостью 43 видов древесных растений выбросами крупного химкомбината по производству азотных удобрений на юго-востоке Украины. Показана высокая видовая гетерогенность в степени и характере повреждения растений аэрополлютантами. Установлено, что в условиях повышенного загрязнения воздуха токсичными азотсодержащими газами в листьях растений, как правило, повышается содержание азота и возрастает суммарный пул свободных аминокислот. Однако только по избыточному накоплению в листьях небелкового азота можно в определенной степени судить о загрязненности воздуха токсичными газами и степени их воздействия на растения. Выделены виды древесных растений, приемлемые для мониторинга загрязненности воздуха эмиссиями химкомбинатов.

UDC 628.5: 634.948 (477.60)

Nitrogen content in the leaves of arboreous plants and their injuries indicative of emission impact of the chemical enterprise specializing in nitrogenous fertilizers / I.I. Korshikov, A.A. Ignatenko, E.N. Vinogradova // *Industrial botany.* – 2003. – V. 3. – P. 120–125.

Research on injuries in 43 arboreous species caused by emissions of a chemical enterprise specializing in nitrogenous fertilizers production has been conducted by a way of two-year observations. It indicated a high specific heterogeneity in a degree and character of plant injuries due to air pollutants. As a rule, a higher nitrogen content and the increased total pool of free aminoacids was noted in the lives under the conditions of intensive air pollution caused by the toxic nitrogen bearing gases. However, only the excessive accumulations of non-protein nitrogen in leaves is to a certain extent indicative of air pollution due to toxic gases and the strength of their effect on plants. The research conducted allowed to determine the arboreous plants which can be employed for monitoring of air pollution caused by the emissions of chemical enterprises.