

Е.Н. Виноградова, Г.А. Пастернак

ВИДОСПЕЦИФИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ ГОДИЧНОГО ПРИРОСТА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭМИССИЙ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

древесные растения, годичный побег, морфометрические показатели, техногенное загрязнение среды, биоиндикация

Введение

Анализ состояния окружающей среды в индустриальных регионах инструментальными методами не всегда отражает объективную ситуацию вследствие непостоянства компонентного состава и уровня загрязнений, трансформаций и взаимодействий отдельных ингредиентов эмиссий [1]. Эффективность мониторинга повышается, если, наряду с инструментальным контролем, используются в качестве индикаторов растения, чувствительные к поллютантам, прежде всего древесные. Под воздействием поллютантов нарушается нормальная жизнедеятельность растений, что выражается в изменении их биохимического состава, физиологических функций и, как следствие, морфологических признаков, которые могут быть использованы для биологического мониторинга загрязнения окружающей среды [1–5]. Первостепенное значение для информативности биоиндикации имеет выбор вида-индикатора и его параметров, чувствительных к воздействию эмиссий. В настоящее время информация о видоспецифических особенностях реакций древесных растений, используемых в озеленении промышленных городов, на воздействие техногенных эмиссий широко представлена в научной литературе [1–8]. Однако анализ публикаций свидетельствует, что техногенная устойчивость одних и тех же видов у различных авторов может получать разную, вплоть до противоположной, оценку [1, 6, 8]. Значительную роль в устойчивости растений, по-видимому, играет как специфика состава эмиссий, так и природно-климатические факторы окружающей среды. В частности, уровень техногенной устойчивости растений могут менять засухи и высокие температуры в течение периода вегетации, характерные для степной зоны [8]. Поэтому рекомендации относительно видов растений и их параметров, пригодных для целей биоиндикации, могут быть даны только с учетом природно-климатических и экологических условий конкретного региона.

Цель и задачи исследований

Целью данной работы является анализ влияния техногенного загрязнения (эмиссии коксохимического производства) на морфометрические показатели годичных побегов древесных растений и оценка перспективности их использования для мониторинга состояния окружающей среды в городах Донбасса.

Объекты и методики исследований

В качестве объектов исследований использовали годичные побеги древесных растений, вырастающие из почек за один вегетационный период, фактически это годичный прирост. Сбор побегов производили в начале сентября, после окончания ростовых процессов, с деревьев 30–40-летнего возраста клена ясенелистного (*Acer negundo* L.), айланты высочайшего (*Ailanthus altissima* (Mill.)), ясеня зеленого (*Fraxinus lanceolata* Borkh.), робинии псевдоакалии (*Robinia pseudoacacia* L.), рябины промежуточной (*Sorbus intermedia* (Ehrh.) Pers.), вяза гладкого (*Ulmus laevis* Pall.) и вяза мелколистного (*U. parvifolia* Jacq.), произрастающих на территории, примыкающей к коксохимическому предприятию ПАО «Донецккокс» (КХЗ), расположенному в центральной части города Донецка, а также в ботаническом саду (БС) в

качестве условного контроля. Следует отметить, что до 80% общего объема выбросов КХЗ (более тысячи тонн в год) составляют оксиды азота, диоксид серы и оксид углерода [9]. Коксохимическим предприятиям принадлежит также основная часть таких токсичных ингредиентов эмиссий, как бензапирен, аммиак, цианистый водород, сероводород, фенол и бензол, значительная часть которых вообще не характерна для нормальной атмосферы [10].

На каждом модельном участке отбирали со среднего яруса кроны 4–5 деревьев каждого вида по 10 верхушечных вегетативных (ростовых) побегов, которые были проанализированы по следующим показателям: длина побега и количество метамеров, количество и сырая масса листьев на побеге, сырая масса 1 листа. Оценка достоверности сравниваемых параметров проведена с использованием t-критерия Стьюдента. Экспериментальные данные обработаны статистически по Г.Ф. Лакину [11] в среде пакета Microsoft Excel.

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ полученных результатов свидетельствует, что аэрополлютанты существенно влияют на большинство морфометрических параметров практически всех исследуемых видов древесных растений (таблица). У большинства изучаемых видов отмечено существенное сокращение годовичного прироста. Так, наблюдается уменьшение длины годовичного побега у *A. negundo* на 36,7%, *A. altissima* – на 28,5%, *R. pseudoacacia* – на 34,6%, *U. laevis* и *U. parvifolia* – на 23,7 и 21,9% соответственно. У таких видов, как *A. negundo* и *R. pseudoacacia*, уменьшение длины годовичного побега сопровождается уменьшением количества его структурных элементов. Аналогичная тенденция выявлена и для побегов *A. altissima*, *U. laevis* и *U. parvifolia*. Наиболее существенные изменения наблюдаются для годовичных побегов растений *R. pseudoacacia* (на 44,8% снижается количество метамеров и на 46,9% – листьев на побеге).

Таблица. Морфометрические показатели годовичного побега древесных растений в условиях воздействия эмиссий коксохимического производства

Вид	Длина побега, см		Количество метамеров		Количество листьев		Суммарная сырая масса листьев, г		Сырая масса одного листа, г	
	БС	КХЗ	БС	КХЗ	БС	КХЗ	БС	КХЗ	БС	КХЗ
<i>Acer negundo</i>	23,50 ± 0,82	18,27 ± 0,83**	4,91 ± 0,30	4,09 ± 0,16*	31,09 ± 2,50	25,82 ± 2,21	12,12 ± 1,08	8,11 ± 0,86*	0,39 ± 0,01	0,31 ± 0,01***
<i>Ailanthus altissima</i>	147,00 ± 10,01	105,11 ± 4,11***	22,33 ± 1,38	19,89 ± 1,04	–	–	–	–	–	–
<i>Fraxinus lanceolata</i>	23,90 ± 2,41	30,00 ± 1,57**	4,10 ± 0,19	4,90 ± 0,33**	9,20 ± 0,68	11,20 ± 0,64**	18,27 ± 2,77	23,28 ± 1,85*	1,99 ± 0,09	2,26 ± 0,1
<i>Robinia pseudoacacia</i>	45,60 ± 2,55	29,80 ± 2,50***	17,20 ± 0,86	9,50 ± 0,69***	16,00 ± 0,83	8,50 ± 0,52***	24,96 ± 4,01	10,21 ± 0,78**	1,34 ± 0,05	0,84 ± 0,05***
<i>Sorbus intermedia</i>	11,25 ± 1,75	18,85 ± 1,63***	5,30 ± 0,39	6,20 ± 0,31*	6,40 ± 0,53	8,70 ± 0,63**	5,31 ± 0,47	6,16 ± 0,79	0,83 ± 0,04	0,71 ± 0,03**
<i>Ulmus laevis</i>	76,40 ± 7,56	58,30 ± 6,35*	25,30 ± 2,52	20,70 ± 1,48	24,00 ± 2,70	19,90 ± 1,42	8,00 ± 2,80	4,47 ± 0,53	0,31 ± 0,02	0,23 ± 0,01***
<i>Ulmus parvifolia</i>	69,30 ± 4,37	54,10 ± 4,73**	21,06 ± 0,96	18,10 ± 1,93	21,20 ± 1,46	18,70 ± 1,46	6,69 ± 0,81	3,28 ± 0,31***	0,28 ± 0,01	0,18 ± 0,01**

Примечание. Различие со значением показателя в контроле достоверно по критерию Стьюдента: * – при $P \leq 0,10$; ** – при $P \leq 0,05$; *** – при $P \leq 0,01$

У всех исследованных видов растений, для которых характерно сокращение годичного прироста под влиянием техногенных эмиссий, выявлено значительное уменьшение средних значений сырой массы одного листа (на 20,5 – 32,3%). Снижение интенсивности годичного прироста и средней массы одного листа приводит к еще более существенному уменьшению суммарной массы листьев на побеге (на 33,1 – 59,1%). Наибольшие изменения значений массы листьев на годичном побеге также характерны для растений *R. pseudoacacia*.

Уменьшение длины годичного побега и его структурных элементов у растений *A. negundo*, *A. altissima*, *R. pseudoacacia*, *U. parvifolia* и *U. laevis* под воздействием эмиссий коксохимического производства свидетельствует о ксерофитизации побега при неблагоприятных условиях среды. Согласно литературным данным, ксерофитизация побегов у древесных пород носит адаптивный характер, способствуя повышению как засухоустойчивости, так и газоустойчивости растений [12, 13]. В частности, ксерофитизация годичного побега выявлена у растений *A. negundo* в условиях техногенной нагрузки разной степени [7], *R. pseudoacacia* и *Pinus sylvestris* L. под влиянием выхлопных газов автотранспорта [14].

Однако у некоторых видов древесных растений в условиях техногенного загрязнения может наблюдаться, напротив, удлинение годичного побега, что показано, в частности, на примере *Betula pendula* Roth., *Malus baccata* (L.) Borkh., *Salix caprea* L., *Sorbus aucuparia* L. и *Tilia cordata* Mill. [7, 15]. Увеличение годичного прироста может быть результатом влияния окислов углерода, подкисляющих среду клеток до pH 3–4 и имитирующих действие ауксинов [16]. Подобная тенденция выявлена нами у *F. lanceolata* и *S. intermedia*, у которых в условиях воздействия эмиссий КХЗ происходит увеличение длины годичного прироста (на 25,5% и 42,3% соответственно). Удлинение побега у данных видов растений сопровождается увеличением количества его метамеров и листьев на побеге. Достоверных изменений средних значений массы одного листа у растений *F. lanceolata* в условиях техногенеза не выявлено, однако за счет большего количества листьев суммарная масса листьев побега увеличивается. У *S. intermedia*, несмотря на увеличение длины побега, масса одного листа снижается, в связи с чем достоверных изменений суммарной массы листьев на побеге не обнаружено.

Изменение, наряду с величиной годичного прироста, количества структурных элементов побега древесных растений, произрастающих в зоне воздействия эмиссий КХЗ, свидетельствует, что поллютанты оказывают влияние не только на постэмбриональную (развертывание и рост уже заложенных элементов), но и на эмбриональную (закладка структурных элементов за счет верхушечной меристемы) фазу побегообразования. В научной литературе есть информация о влиянии поллютантов на эмбриональную стадию развития годичного побега как некоторых лиственных, так и хвойных растений [7, 17].

Выводы

Загрязнение окружающей среды эмиссиями коксохимического производства приводит к изменению развития годичного побега древесных растений и его структурных элементов. У одних видов происходит ксерофитизация морфологических структур (*Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus parvifolia* и *U. laevis*); у других – напротив, удлинение годичного побега и увеличение числа его метамеров (*Fraxinus lanceolata* и *Sorbus intermedia*). Наиболее чувствительным к действию техногенных эмиссий показателем является длина годичного побега, достоверные изменения которой выявлены у всех изученных видов растений, что позволяет рекомендовать данный показатель для использования в мониторинговых исследованиях состояния растительности и загрязнения среды в промышленных регионах

1. *Коришиков И.И., Котов В.С., Михеенко И.П. и др. Взаимодействие растений с техногенно загрязнённой средой. Киев: Наук. думка, 1995. 190 с.*

- Korshikov I.I., Kotov V.S., Mikheenko I.P. i dr. Vzaimodeystvie rasteniy s tekhnogenno zagryaznennoy sredoy* [Plant interaction with industrial polluted environments]. Kiev: Nauk. dumka, 1995. 190 p.
2. *Биоиндикация загрязнений наземных экосистем* / под ред. Шуберта Р. [Schubert R.]; пер. с нем. Г.И. Лойдиной и В.А. Турчаниновой. М.: Мир, 1988. 350 с.
Bioindikatsiya zagryazneniy nazemnykh ekosistem [Biological indication of terrestrial ecosystems pollution] / Ed. R. Schubert; translated from German by G.I. Loydina and V.A. Turchaninova. Moscow: Mir, 1988. 350 p. [In Russian].
 3. *Evers E.-H. Die Blatt- und Nadelanalyse als Instrument der Bioindikation* // Allg. Forts. 1986. Vol. 41, N 1–2. P. 6–9.
 4. *Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации*. Пушкино: ВНИИЛМ, 2002. 220 с.
Nikolaevskiy V.S. Ekologicheskaya otsenka zagryazneniya sredy i sostoyaniya nazemnykh ekosistem metodami fitoindikatsii [Ecological evaluation of environmental pollution and terrestrial ecosystems using plant indication methods]. Pushkino: VNIILM, 2002. 220 p.
 5. *Мэннинг У.Дж., Федер У.А.* [Menning W.J., Feder W.A.] *Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений* / под ред. Л.М. Филипповой; пер. с англ. Т.А. Головиной, Л.Ф. Сальникова. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 144 с.
Menning W.J., Feder W.A. Biomonitoring zagryazneniya atmosfery s pomoshchyu rasteniy [Biological monitoring of air pollution using plants] / Ed. L.M. Filippova; translated by T.A. Golovina, L.F. Salnikov. Leningrad: Gidprometeoizdat, 1985. 144 p. [In Russian].
 6. *Поляков А.К. Интродукция древесных растений в условиях техногенной среды* / под общей ред. А.З. Глухова. Донецк: Ноулидж (донецкое отделение), 2009. 268 с.
Polyakov A.K. Introduktsiya drevesnykh rasteniy v usloviyakh tekhnogennoy sredy [Introduction of woody plants under industrial environment] / Ed. A.Z. Glukhov. Donetsk: Noulig (donetskoe otделение), 2009. 268 p.
 7. *Бухарина И.Л., Поварницына Т.М., Ведерникова К.Е. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде: монография*. Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2007. 216 с.
Bukharina I.L., Povarnitsyna T.M., Vedernikova K.Ye. Ekologo-biologicheskie osobennosti drevesnykh rasteniy v urbanizirovannoy srede: monografiya [Ecological and biological features of woody plants under industrial environments]. Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaya GSKhA, 2007. 216 p.
 8. *Бессонова В.П., Івченко О.Є., Яковлева-Носарь С.О. Вплив викидів титаномagneієвого комбінату на стан деревних насаджень промислової території та санітарної зони* // Відновлення порушених природних екосистем: мат. Третьої міжн. наук. конф. (Донецьк, 7–9 жовтня 2008 р.). Донецьк, 2008. С. 61–64.
Bessonova V.P., Ivchenko O.E., Yakovleva-Nosar S.O. Vplyv vykydiv titanomagnievogo kombinatu na stan derevnykh nasadzhen promyslovoi terytorii ta sanitarnoy zony [The effect of titanium and magnium processing plant on the tree condition in industrial site and sanitary zone] // Vidnovlennya porushenykh prirodneykh ekosistem: mat. Tretioyi mizhn. nauk. konf. (Donetsk, 7–9 zhovtnya 2008 r.). Donetsk, 2008. P. 61–64.
 9. *Ковалев Е.Т., Борисенко А.Л., Малыш А.С. Возможности достижения экологической безопасности на коксохимических предприятиях Украины* // Об'єднання заради життя: збірка доповідей національного екологічного форуму «Екологія промислового регіону» (Донецьк, 23–24 травня 2012 р.). Т. 1. Донецьк, 2012. С. 29–30.
Kovalev E.T., Borisenko A.L., Malyshev A.S. Vozmozhnosti dostizheniya ekologicheskoy bezopasnosti na koksokhimicheskikh predpriyatiyakh Ukrainy [Possibilities of achieving ecological security of coke-chemical enterprise] // Obyednannya zaradi zhittya: zbirka dopovidey natsionalnogo ekologichnogo forumu «Ekologiya promyslovogo regionu» (Donetsk, 23–24 travnya 2012 r.). Vol. 1. Donetsk, 2012. P. 29–30.

10. *Мищенко И.М., Асламова Я.Ю.* Основные направления развития и повышения экологической безопасности предприятий черной металлургии Украины // Об'єднання заради життя: збірка доповідей національного екологічного форуму «Екологія промислового регіону» (Донецьк, 23–24 травня 2012 р.). Т. 1. Донецьк, 2012. С. 26–28.
Mishchenko I.M., Aslamova Ya.Yu. Osnovnye napravleniya razvitiya i povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti predpriyatiy chernoy metallurgii Ukrainy [The main trends of development and healthier environment security of metallurgical enterprise of Ukraine] // Obyednannya zaradi zhittya: zbirka dopovidey natsionalnogo ekologichnogo forumu «Ekologiya promyslovogo regionu» (Donetsk, 23–24 travnya 2012 r.). Vol. 1. Donetsk, 2012. P. 26–28.
11. *Лакин Г.Ф.* Биометрия. Учеб. пособие для биологич. спец. вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1980. 293 с.
Lakin G.F. Biometriya [Biometry]. Ucheb. posobie dlya biologich. spets. vuzov. 3-e izd., pererab. i dop. Moscow: Vyssh. shk., 1980. 293 p.
12. *Кулагин Ю.З.* Индустриальная дендрэкология и прогнозирование. М.: Наука, 1985. 117 с.
Kulagin Yu.Z. Industrialnaya dendroekologiya i prognozirovanie [Industrial dendroecology and prognosis]. Moscow: Nauka, 1985. 117 p.
13. *Неверова О.А., Колмогорова Е.Ю.* Древесные растения и урбанизированная среда: экологические и биотехнологические аспекты. Новосибирск: Наука, 2003. 222 с.
Neverova O.A., Kolmogorova Ye.Yu. Drevesnye rasteniya i urbanizirovannaya sreda: ekologicheskie i biotekhnologicheskie aspekty [Arboreal plants and urban environments: ecological and biotechnological aspects]. Novosibirsk: Nauka, 2003. 222 p.
14. *Капранов С.В.* Автотранспорт, воздух и здоровье. Луганск: Изд-во Восточноукраинского государственного университета, 1998. 195 с.
Kapranov S.V. Avtotransport, vozdukh i zdorovye [Automobile transport, air and health]. Lugansk: Izd-vo Vostochnoukrainskogo gosudarstvennogo universiteta, 1998. 195 p.
15. *Турмухаметова Н.В.* Особенности морфогенеза побегов и феноритмов *Betula pendula* Roth и *Tilia cordata* Mill. в условиях городской среды: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. биол. наук: спец. 03.00.16 «Экология». Новосибирск, 2005. 19 с.
Turmukhametova N.V. Osobennosti morfogeneza pobegov i fenoritmov *Betula pendula* Roth i *Tilia cordata* Mill. v usloviyakh gorodskoy sredy [The features of shoot morphogenezez *Betula pendula* Roth i *Tilia cordata* Mill. under urban environment]: avtoref. dis. na soiskanie uchen. stepeni kand. biol. nauk: spets. 03.00.16 «Ekologiya». Novosibirsk, 2005. 19 p.
16. *Полевой В.В., Саламатова Т.С.* Физиология роста и развития растений. Л.: ЛГУ, 1991. С. 55–60.
Polevoy V.V., Salamatova T.S. Fiziologiya rosta i razvitiya rasteniy [Physiology of plant growth and development]. Leningrad: LGU, 1991. P. 55–60.
17. *Вострикова Т.В.* Влияние почвенно-климатических факторов и антропогенного загрязнения на цитогенетические показатели деревьев-интродуцентов // Современные проблемы аграрной науки и пути их решения: мат Всерос. науч.-практ. конф. Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2005. Т. II. С. 326–331.
Vostrikova T.V. Vliyanie pochvenno-klimaticheskikh faktorov i antropogennogo zagryazneniya na tsitogeneticheskie pokazateli derevev-introdutsentov [Effects of soil, climate and man-induced pollution on cytogenetic indices of introduced plants] / Sovremennye problemy agrarnoy nauki i puti ikh resheniya: mat Vseros. nauch.-prakt. konf. Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaya GSKhA, 2005. Vol. II. P. 326–331.

Государственное учреждение
«Донецкий ботанический сад»

Поступила: 20.06.2017

УДК 581.44:581.52(477.62)

ВИДОСПЕЦИФИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ ГОДИЧНОГО ПРИРОСТА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭМИССИЙ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Е.Н. Виноградова, Г.А. Пастернак

Государственное учреждение «Донецкий ботанический сад»

Анализ видоспецифических особенностей годичного прироста древесных растений в условиях техногенной нагрузки показал, что у одних видов (*Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus parvifolia* и *U. laevis*) при воздействии эмиссий коксохимического производства наблюдается ксерофитизация морфологических структур, проявляющаяся в уменьшении длины однолетнего побега, количества и массы его листьев; у других – напротив, удлинение годичного побега и увеличение числа его структурных элементов (*Fraxinus lanceolata* и *Sorbus intermedia*). Наиболее чувствительным к действию техногенных эмиссий показателем является длина годичного побега, достоверные изменения которой выявлены у всех изученных видов растений, что позволяет рекомендовать его для использования в мониторинговых исследованиях состояния растительности в промышленных регионах.

Ключевые слова: древесные растения, годичный побег, морфометрические показатели, техногенное загрязнение среды, биоиндикация

UDC 581.44:581.52(477.62)

SPECIES-SPECIFIC RESPONSE OF THE ANNUAL GROWTH IN WOODY PLANTS EXPOSED TO THE EMISSIONS OF COKE PRODUCTION

E.N. Vinogradova, G.A. Pasternak

Public Institution «Donetsk Botanical Garden»

Analysis of species-specific features of the annual growth of woody plants in conditions of anthropogenic load showed that in some species (*Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus parvifolia* and *U. laevis*) under the influence of emissions from coke production xerophytization of morphological structures is observed, reflected in reduced length of annual shoot, number and weight of its leaves. In other species, on the contrary, there is lengthening of the annual shoot and the number of structural elements (*Fraxinus lanceolata* and *Sorbus intermedia*). The most sensitive indicator of anthropogenic emissions is the length of the annual shoots. Significant changes of this indicator have been revealed in all investigated plant species, which allows using it in monitoring research of vegetation condition in the industrial regions

Key words: woody plants, annual shoot, morphometric parameters, industrial pollution, bioindication