

УДК 630*161.3:582.475.2/4:504.3.054

Т.А. Сазонова, Е.Н. Теребова, И.С. Осипова, С.М. Шредерс

Сазонова Татьяна Аркадьевна родилась в 1946 г., окончила в 1968 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии и цитологии древесных растений Института леса КарНЦ РАН. Имеет около 40 печатных работ в области экологии и физиологии древесных растений.



Теребова Елена Николаевна родилась в 1976 г., окончила в 1998 г. Петрозаводский государственный университет, аспирант лаборатории физиологии и цитологии древесных растений Института леса КарНЦ РАН. Имеет 1 печатную работу.



Шредерс Светлана Михайловна родилась в 1946 г., окончила в 1968 г. Петрозаводский государственный университет, главный биолог лаборатории физиологии и цитологии древесных растений Института леса КарНЦ РАН. Имеет около 40 печатных работ в области экологии и физиологии древесных растений.



АЗОТНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В ХВОЕ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Исследовано влияние промышленных выбросов на содержание азотных соединений в хвое деревьев сосны и ели в северотаежной подзоне. Показано, что изменения связаны с увеличением роли экзогенных факторов и снижением роли эндогенных.

поллютанты, сосна, ель, тенденции, азот общий и белковый, регрессии.

Поллютанты вызывают разнонаправленные изменения в азотном обмене растений [2, 7, 12, 13, 17, 19, 20, 22, 23, 27]. Характер реакции зави-

сит от типа и степени воздействия, а также условий произрастания и видового состава растительного сообщества.

Цель настоящей работы – выявить общие закономерности изменения содержания азотных веществ в хвое разного возраста сосны и ели в зависимости от уровня промышленного загрязнения.

Исследование проводили в северной подзоне восточноевропейской тайги, в районе действия комбината «Североникель» (г. Мончегорск). Основными компонентами выбросов являются SO_2 и тяжелые металлы – никель, медь, марганец, цинк. Образцы отбирали на трех пробных площадях (ПП), различных по степени нагрузки: в 10 км от источника загрязнения – зоне разрушения экосистем (ПП 1), в 30 км – зоне начальной стадии деградации экосистем (ПП 2), в 60 км – зоне, являющейся условно фоновой (контроль) (ПП 3). Концентрация SO_2 в воздухе составляла 0,09, 0,04 и 0,011 мг/м³ соответственно [4]. Для оценки жизненного состояния деревьев использовали методики диагностики и классификации загрязненных лесных экосистем [1, 26].

Объектами исследований служили деревья сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. в коренных высоковозрастных (ПП 3) и вторичных (ПП 1, 2) сосняках лишайниковых и ели сибирской *Picea obovata* Lebed в высоковозрастных ельниках кустарничково-зеленомошных.

Содержание общего азота определяли методом Кьельдаля, белкового азота по методике [11, 6]. Небелковый азот находили как разницу между общим и белковым. Данные были обработаны методами корреляционного и регрессионного анализов с помощью пакета Statgraphics Plus 2.1 [23].

Зависимость содержания азотных соединений от возраста хвои при различном уровне воздействия токсикантов. На контрольном участке (ПП 3) содержание азота в хвое достоверно уменьшалось с ее возрастом ($r = - (0,8 \dots 0,9)$). Различия в содержании общего азота между хвоей 1-го и 3-го года у деревьев сосны достигали 11,15, у ели 19,21 %; белкового соответственно 14,15 и 15,03 %; небелкового у ели 34,68 %. Фракция небелкового азота у сосны изменялась более сложно: его содержание в хвое 2-го года уменьшилось на 27,28 % по сравнению с хвоей 1-го и 3-го годов жизни.

В зоне начальной стадии деградации (ПП 2), как и на контрольном участке, с увеличением возраста хвои уменьшалось содержание азотных соединений. Однако корреляционная связь была слабее, чем в контроле ($r = - (0,4 \dots 0,5)$). Более того, эту связь не удалось достоверно описать ни одним из подобранных регрессионных уравнений ($R^2 < 50$ %). В отличие от контрольного участка, на котором росли деревья сосны и ели I категории состояния, зона деградации включала деревья всех категорий от I до IV. Основной «вклад» в ослабление связи вносили деревья IV и частично III категорий состояния.

И наконец, в зоне техногенной «пустоши» (ПП 1), включающей деревья сосны и ели только IV категории состояния, не обнаружена достоверная зависимость содержания азотных соединений от возраста хвои. Среднее содержание общего азота у деревьев сосны и ели составило $1,20 \pm 0,08$ и

1,04 ± 0,07 %; белкового 1,05 ± 0,04 и 0,88 ± 0,14 % соответственно. Содержание небелкового азота было одинаковым у исследуемых видов (0,16 ± 0,04 %).

Зависимость содержания азотных соединений в хвое от категории состояния дерева. С ухудшением состояния дерева содержание азотных соединений уменьшается. Более тесная корреляционная связь наблюдается для деревьев ели. Попытки аппроксимировать исследуемые зависимости регрессионными уравнениями не дали ожидаемого результата ($R^2 < 50$ %). Следовательно, речь может идти лишь о тенденции уменьшения содержания азотных соединений с ухудшением состояния дерева.

Эта зависимость оказалась более сложной при сравнении содержания азотных соединений у деревьев, визуально отнесенных к одной категории состояния, но растущих на разном расстоянии от источника загрязнения. Как следует из табл. 1, содержание общего и белкового азота у деревьев ели и сосны I категории на ПП 3 ниже, чем на ПП 2, т. е. более загрязненной. У деревьев IV категории эти показатели на ПП 2 и 1 также различны, они выше на участке большего воздействия поллютантов. Эти наблюдения свидетельствуют о слабом влиянии категории состояния дерева на

Таблица 1

Порода	Год хвои	Содержание азота, % (в числителе общего, в знаменателе белкового) у деревьев			
		4-й категории на расстоянии, км		1-й категории на расстоянии, км	
		10	30	30	60
Сосна	1	<u>1,23 ± 0,05</u>	<u>0,95 ± 0,02</u>	<u>1,13 ± 0,01</u>	<u>1,00 ± 0,01</u>
		0,99 ± 0,01	0,82 ± 0,02	0,91 ± 0,02	0,78 ± 0,01
	2	<u>1,16 ± 0,00</u>	<u>0,93 ± 0,01</u>	<u>1,01 ± 0,01</u>	<u>0,95 ± 0,01</u>
		1,03 ± 0,00	0,83 ± 0,00	0,84 ± 0,01	0,78 ± 0,00
	3	<u>1,23 ± 0,02</u>	<u>0,83 ± 0,01</u>	<u>0,97 ± 0,00</u>	<u>0,89 ± 0,03</u>
		1,10 ± 0,01	0,69 ± 0,02	0,83 ± 0,00	0,67 ± 0,01
Ель	1	<u>1,12 ± 0,02</u>	<u>0,77 ± 0,01</u>	<u>0,88 ± 0,00</u>	<u>0,81 ± 0,00</u>
		0,99 ± 0,02	0,60 ± 0,01	0,76 ± 0,01	0,61 ± 0,00
	2	<u>0,97 ± 0,01</u>	<u>0,72 ± 0,01</u>	<u>0,88 ± 0,02</u>	<u>0,76 ± 0,00</u>
		0,78 ± 0,04	0,71 ± 0,00	0,72 ± 0,02	0,62 ± 0,00
	3	<u>1,03 ± 0,02</u>	<u>0,61 ± 0,01</u>	<u>0,80 ± 0,00</u>	<u>0,65 ± 0,00</u>
		0,87 ± 0,01	0,52 ± 0,00	0,71 ± 0,00	0,51 ± 0,00

показатели азотного обмена. Содержание азотных соединений в большей степени определяется расстоянием от источника загрязнения.

Таким образом, можно говорить лишь о тенденции уменьшения содержания азотных соединений с ухудшением состояния дерева. При этом категории состояния, определенные визуально и по показателям азотного обмена, не всегда совпадают.

Зависимость содержания азотных соединений в хвое деревьев от расстояния до источника загрязнения. Данные корреляционного анализа продемонстрировали наличие достоверной отрицательной связи между содержанием общего и белкового азота и расстоянием до источника загрязне-

ния (табл. 2). Для небелкового азота определенной тенденции выявить не удалось; его количество в хвое разных лет у деревьев сосны и ели может как понижаться, так и повышаться.

Таблица 2

Порода	Азот	Год хвои	Уравнение регрессии	p	r	R^2 , %
Сосна	Общий	1	$Y = 0,938 + 2,823/X$	0,02	-0,57	32
		2	$Y = 0,895 + 2,623/X$	0,00	-0,80	63
		3	$Y = 0,769 + 4,445/X$	0,00	-0,83	70
	Белковый	1	$Y = 1,015 - 0,004/X$	0,01	-0,63	40
		2	$Y = 0,747 + 2,894/X$	0,00	-0,90	80
		3	$Y = 0,602 + 4,974/X$	0,00	-0,88	77
Ель	Общий	1	$Y = 0,700 + 4,116/X$	0,00	-0,87	75
		2	$Y = 0,692 + 2,762/X$	0,01	-0,71	51
		3	$Y = 0,574 + 4,576/X$	0,00	-0,90	82
	Белковый	1	$Y = 0,517 + 0,748/X$	0,00	-0,85	72
		2	$Y = 0,534 + 3,177/X$	0,00	-0,71	51
		3	$Y = 0,456 + 4,144/X$	0,00	-0,83	69

Примечание. X – расстояние от комбината, км; Y – содержание азота, %.

Эту зависимость описывали регрессионными уравнениями (табл. 2). Как следует из моделей, с удалением от источника загрязнения исследуемые показатели уменьшаются. На расстоянии примерно 50 км для сосны и 65 км для ели кривые выходят на уровень, соответствующий контролю, т. е. влияние поллютантов не обнаруживается.

Обсуждение результатов. Как поглощение азотных веществ, так и весь азотный метаболизм растительного организма регулируются эндогенными системами. О функционировании этих систем у хвойных растений, отличительной особенностью которых является наличие ассимиляционного аппарата в виде хвои разного возраста, можно судить по содержанию в ней метаболитов. Известно, что в процессе старения хвои изменяются ее анатомо-морфологическое строение [3, 24], содержание элементов минерального питания [13], азотных, фосфорных и углеводных соединений [16]. По данным ряда авторов [5, 15, 21], с увеличением возраста хвои содержание азотных соединений уменьшается. Эта закономерность обнаружена нами в условиях контроля (60 км от источника загрязнения) для общего и белкового азота ($r = - (0,8 \dots 0,9)$; $R^2 > 50$ %). В условиях техногенной нагрузки корреляционная связь постепенно уменьшалась. На расстоянии 30 км в зоне начальной стадии деградации ($r = - (0,4 \dots 0,5)$); в зоне полного разрушения экосистем (10 км) эта связь полностью нарушалась. Следовательно, с увеличением техногенной нагрузки происходили постепенные нарушения в функционировании эндогенной системы регуляции, и у деревьев в зоне техногенной пустоши она перестала действовать.

В известной нам литературе немного данных о сравнительной функциональной оценке содержания азотных соединений у деревьев разных ка-

тегорий состояния. Полученные нами результаты свидетельствуют о тенденции снижения общего и белкового, а также незакономерном изменении небелкового азота с ухудшением состояния дерева. Максимальные различия по общему азоту для деревьев сосны и ели составили соответственно 13 и 18, белковому 9 и 27 %. Ответные реакции растений на действие поллютантов существенно различаются. Процессы, непосредственно связанные с факторами внешней среды, например CO_2 -газообмен или транспирация, изменяются значительно больше, чем опосредованные [8 – 10, 18]. При воздействии неблагоприятных факторов одним из основных защитных механизмов, способствующих выживанию растения, служит поддержание возможно более стабильного уровня метаболитов как источников для последующих синтезов и функционирования важнейших метаболических путей.

Как следует из наших результатов, чем ближе комбинат, тем больше количество общего и белкового азота в хвое деревьев сосны и ели. В то же время с усилением интенсивности загрязнения продолжительность жизни хвои уменьшается и в условиях сильного загрязнения составляет 20 ... 30 % от контроля [25]. В условиях техногенной пустоши остается хвоя двух последних лет жизни, причем она опадает не в природные фенологические сроки [14]. Увеличение содержания азотных соединений в хвое с приближением к источнику загрязнения может быть обусловлено оттоком этих соединений из опадающей хвои в более молодую. Однако, по-видимому, их дальнейшее использование в азотном обмене затруднено из-за нарушений в эндогенной регуляции этого процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев В.А.* Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. – Л.: Наука, 1990. – 200 с.
2. *Барактенова Л.А., Брянцева З.Н., Коропачинский И.Ю.* Действие экоотоксикологического стресса на метаболизм сосны обыкновенной // Тез. докл. Междунар. симпозиума ИЮФРО (15-19 августа, Абакан). – Красноярск, 1991. – С. 14.
3. *Бузыкин А.И., Пшеничникова Л.С.* Изменчивость морфологических показателей хвои сосны обыкновенной и содержание в ней азота, фосфора и калия // Метаболизм хвойных в связи с периодичностью их роста. – Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1973. – С. 152-170.
4. *Васильева Н.П.* и др. Мониторинг повреждаемых загрязняющими веществами лесных экосистем России / Н.П. Васильева, М.Л. Гитарский, Р.Т. Карабань, И.М. Назаров // Лесоведение. – 2000. – № 1. – С. 23-31.
5. *Ганюшкина Л.Г.* Пигментный состав и азотный обмен разновозрастной хвои сосны обыкновенной // Пути адаптации растений при интродукции на Севере. – Петрозаводск, 1977. – С. 64-68.
6. *Гирс Г.И.* К методике определения общего и белкового азота в растительных тканях // Исследование обмена веществ древесных растений. – Новосибирск: Наука, 1985. – С. 40-45.
7. *Илькун Г.М.* Загрязнители атмосферы и растения. – Киев: Наукова думка, 1978. – 249 с.

8. *Кайбияйнен Л.К.* и др. CO₂ – газообмен in vivo – тест состояния растения при длительном воздействии токсичных поллютантов / Л.К. Кайбияйнен, П. Хари, Г.И. Софронова, В.К. Болондинский // Физиология растений. – 1994. – Т. 41, № 5. – С. 788-793.

9. *Кайбияйнен Л.К.* и др. Влияние длительности воздействия токсичных поллютантов на состояние устьиц и фотосинтез хвои *Pinus sylvestris* L. / Л.К. Кайбияйнен, П. Хари, Г.И. Софронова, В.К. Болондинский // Физиология растений. – 1995. – Т. 42, № 5. – С. 751-757.

10. *Кайбияйнен Л.К., Софронова Г.И., Болондинский В.К.* Влияние токсичных поллютантов на дыхание хвои и побегов сосны обыкновенной // Экология. – 1998. – № 1. – С. 23-37.

11. *Крищенко В.П.* Методика определения аминокислотного состава растительных образцов и разделения белков на фракции буферными растворами // Изв. АН СССР. Сер. биол. – 1978. – № 3. – С. 405-417.

12. *Кузьмина Г.П., Барахтенюва Л.А.* Биоиндикация сосновых насаждений в условиях экотоксикологического стресса // Тез. докл. Междунар. симпозиума ИЮФРО (15-19 августа, Абакан). – Красноярск, 1991. – С. 68.

13. *Лукина Н.В., Никонов В.В., Райтио Х.* Химический состав хвои сосны на Кольском полуострове // Лесоведение. – 1994. – № 6. – С. 10-21.

14. *Лукина Н.В., Никонов В.В.* Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. – Апатиты: КНЦ РАН, 1998. – 316 с.

15. *Новицкая Ю.Е., Чикина П.Ф.* Азотный обмен у сосны на Севере. – Л.: Наука, 1980. – 166 с.

16. *Новицкая Ю.Е.* и др. Физиолого-биохимические основы роста и адаптации сосны на Севере / Ю.Е. Новицкая, П.Ф. Чикина, Г.И. Софронова и др. – Л.: Наука, 1985. – 156 с.

17. *Рожков А.С., Васильев Т.Г.* О физиологическом состоянии сосняков, ослабленных промышленными выбросами на восточном побережье оз. Байкал // Рациональное использование природных ресурсов водоемов и их охрана. – Иркутск: ЛИН СО АН СССР, 1981. – С. 141.

18. *Сазонова Т.А., Болондинский В.К., Кайбияйнен Л.К.* К вопросу о методике экофизиологического мониторинга ценопопуляций ели европейской и сосны обыкновенной // Экологический мониторинг лесных экосистем. – Петрозаводск, 1999. – С. 29.

19. *Сергейчик А.А.* Эколого-физиологические исследования устойчивости сосны обыкновенной в техногенной среде // Вопросы экологии и охраны природы в лесостепных и степных зонах. – Самара: Самар. ГУ, 1995. – С. 92-97.

20. *Сидорович Е.А., Сергейчик С.А., Сергейчик А.А.* Структурно-функциональная организация ассимиляционного аппарата древесных растений в связи с газоустойчивостью // Докл. АН Беларуси. – 1997. – 41, № 6. – С. 89-91.

21. *Судачкова Н.Е.* Метаболизм хвойных и формирование древесины. – Новосибирск: Наука, 1977. – 230 с.

22. *Судачкова Н.Е.* и др. Биохимические индикаторы стрессового состояния древесных растений / Н.Е. Судачкова, И.В. Шеин, И.Л. Романова и др. – Новосибирск: Наука, 1997. – 176 с.

23. *Тарабрин В.П.* и др. Фитотоксичность органических и неорганических загрязнителей / В.П. Тарабрин, Е.Н. Кондратюк, В.Г. Башкатов и др. – Киев: Наукова думка, 1986. – 216 с.

24. *Эсау К.* Анатомия семенных растений. – М.: Мир, 1980. – Т. 2. – С. 225-560.

25. Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) и ее сообщества в условиях атмосферного загрязнения на Европейском Севере: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. – СПб., 1994. – 36 с.

26. Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. – СПб.: Изд-во НИИ химии С.-Петербург. ун-та, 1997. – 210 с.

27. Bercea V., Bathory Dana, Rusu Anoa. Metabolical adaptation to industrial pollution in beech and horbeam leaves. 1. Evolution of dry substances and total proteins // Rev. Roum. Bid. Ser. Bid. veg. – 1993. – 38, № 1. – P. 33-41.

Институт леса Карельского НЦ РАН
Петрозаводский государственный университет

Поступила 23.10.2000 г.

T.A. Sazonova, E.N. Terebova, I.S. Osipova, S.M. Shreders

Nitric Compounds in Needle under Industrial Pollution Conditions

The influence of industrial emissions has been investigated for the content of nitric compounds in pine and spruce needle of the northern-taiga subzone. The changes are shown to be connected with the increase of the role of exogenous factors and reduction of the role of endogenous ones.
