

УДК 631

СОСТОЯНИЕ И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА СОСНОВЫХ ЛЕСОВ В УСЛОВИЯХ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ

Ярмишко В.Т.

Ботанический институт им. В.Л.Комарова РАН, Санкт-Петербург

Исследованиями установлено, что под воздействием хронического загрязнения окружающей среды отходами медно-никелевого производства в сосняках чернично-вороничных на Европейском Севере наблюдается подавление ростовой активности и измельчение парциальных кустов растений рода *Vaccinium*. Кроме морфологических изменений, отмечаются внешние признаки поражения токсикантами в виде хлорозов и некрозов листьев, происходит снижение общей фитомассы напочвенного покрова (в 5 раз и более) в сравнении с фоновыми сообществами.

Ключевые слова: аэротехногенное загрязнение, отходы медно-никелевого производства, сосновые леса

PLANT STATE AND PRODUCTIVITY OF OVERGROUND IN PINE FORESTS UNDER AEROINDUSTRIAL CONTAMINATION ON EUROPEAN NORTH

Yarmishko V.T.

Komarov Botanical Institute RAS, St.-Petersburg

The researches are established, that on European North the growth degradation and diminution of partial bushes of *Vaccinium* are observed in bilberry-heathberry pine forests under impact of permanent pollution of the environment by waste products of copper and nickel industry. Beside morphological changes, the external features of toxic affection in form of leaf chlorosis and necrosis are noted. The fivefold decreasing of total plant mass of overground (in 5 times) took place in comparison to background communities.

Keywords: aerotechnogenic pollution, a waste of medno-nickel manufacture, pine woods

В лесных экосистемах на Европейском Севере средообразующая роль принадлежит не только древесному ярусу, но и нижним ярусам растительности, слагаемых в основном кустарничками, мохообразными и лишайниками. Фитомасса этих растений может достигать 25% и более общего запаса, годовая продукция и участие в биогеохимическом круговороте – 50–60% (Никонов, 1985). Антропогенное воздействие, особенно техногенное загрязнение, вызывает существенную перестройку организации фитоценозов, обуславливая изменение запаса, структуры, состояния и пространственного распределения растительного органического вещества, заключенного в напочвенном покрове (Лукина, Никонов, 1996; Ярмишко В., Ярмишко М., 2005).

Цель настоящей работы – исследовать состояние и продуктивность нижних ярусов сосновых лесов на северном пределе их распространения в условиях хронического атмосферного загрязнения.

Материалы и методы исследования

Многолетние комплексные исследования проводились на постоянных пробных площадях (ППП) в сосняках чернично-вороничных на иллювиально-железистых подзолистых почвах. Большинство ППП ориентированы по градиенту загрязнения к юго-западу (по направлению господствующих ветров) от медно-никелевого комбината «Североникель», расположенного в г. Мончегорск. В фоновых условиях ППП

закладывали на удалении 60 км и более от источника эмиссии.

Общее описание растительности напочвенного покрова сосновых лесов производили на площадках размером от 1 до 10 м², количество которых зависело от размеров пробной площади и пестроты строения нижних ярусов леса.

При учете фитомассы растений травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов были использованы рекомендации, изложенные в монографии «Методы изучения лесных сообществ» (2002). Фитомассу растений нижних ярусов леса мы учитывали, как правило, в августе месяце, когда наступает завершение роста вегетативных органов на 25–30 площадках размером 25×25 см. Свежие укосы разбирали по видам растений и взвешивали. При этом мхи и лишайники по видам не подразделялись. Для определения сухой массы отбирали навески, которые высушивали до постоянного веса при температуре 105 °С.

Результаты исследования и их обсуждение

Фоновые лесные сообщества характеризуются средней концентрацией SO₂ в воздухе за вегетационный период менее 10 мкг/м³ (Ярмишко, 1997) и содержанием тяжелых металлов (Ni, Co, Si) в растениях и почве не более 14–16 мг/кг (Лянгузова, 1990, 2010).

На расстоянии 30–35 км от источника эмиссии в районе умеренного атмосферного загрязнения средняя концентрация SO₂ в воздухе составляет 25–35 мкг/м³, а содержание тяжелых металлов в верхних гори-

зонтах почвы в 10–12 раз больше по сравнению с фоновыми сообществами. Здесь наблюдаются наиболее серьезные и четко выраженные изменения в состоянии лесных сообществ.

В условиях средних уровней аэротехногенного загрязнения общее число видов травяно-кустарничкового яруса в сосняках чернично-вороничных сохраняется на уровне фоновых сообществ. Однако исследования морфометрических показателей отдельных видов этого яруса выявили, что в таких условиях произрастания происходит снижение ростовой активности и наблюдается измельчение парциальных кустов *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea* и *V. uliginosum* (Ярмишко и др., 1995, Ярмишко, 1997; Мазная, Лянгузова, 2010). Так, например, в молодых и спелых сосняках кустарничково-лишайниковых наблюдается достоверное снижение средней высоты парциальных кустов, длины побега текущего года и средней площади листовой поверхности. Кроме морфологических изменений, отмечаются внешние признаки поражения токсикантами в виде хлорозов и некрозов листьев у большинства растений травяно-кустарничкового яруса (*Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *V. uliginosum*, *Equisetum*

silvaticum L., *Linnaea borealis*, *Chamerion angustifolium* (L.) Holub, *Lerchenfeldia flexuosa* и др.). При этом доля здоровых листьев снижается в 3,5 раза у *Vaccinium myrtillus* и в 1,5 раза у *V. vitis-idaea* и резко возрастает доля поврежденных – до 93 и 49,3% соответственно (Мазная, 2001).

В исследованных сосновых лесах в условиях умеренного уровня атмосферного загрязнения наблюдается снижение общей продуктивности фитомассы растений травяно-кустарничкового яруса в 1,7–4,0 раза по сравнению с таковой в фоновых сообществах (табл. 1, 2).

Продуктивность фитомассы отдельных видов снижается более значительно, например, *Vaccinium myrtillus* до 5,9 раз. Интересно отметить, что в фоновых сосняках чернично-вороничных на долю *Vaccinium vitis-idaea* приходилось не более 4% от общей фитомассы живого напочвенного покрова. В условиях умеренного и высокого уровня атмосферного загрязнения этот показатель достигает 14%. По мере усиления аэротехногенного загрязнения наблюдается также относительное увеличение фитомассы таких видов как *Empetrum hermaphroditum* и *Arctostaphylos uva-ursi*.

Таблица 1

Продуктивность растений нижних ярусов в чернично-вороничных сосняках в фоновых условиях на Кольском Севере

Виды отдельных растений или групп растений	Возраст древостоев и давность нарушения их пожарами		
	молодой (III кл. возраста)		спелый (XI кл. возраста)
	33* (90)**	17 (60)	32 (90)
Лишайники	180 ± 55 33,1 ± 8	234 + 51 29,4 ± 6	660 + 170 61,7 ± 10
Мхи	215 ± 56 39,5 ± 8	192 + 11 24,1 ± 7	161 + 6 15,1 + 8
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	17 ± 6 3,1 ± 1,6	22 + 7 2,8 ± 1,7	41 ± 11 3,8 ± 0,7
<i>Vaccinium myrtillus</i>	77 ± 19 14,2 ± 4	275 ± 35 34,5 ± 8	140 ± 4 13,1 ± 3
<i>Empetrum hermaphroditum</i>	51 ± 17	70 ± 10	61 ± 25
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>	9,4 ± 3	8,8 + 3 3,0 ± 20,8 0,4 ± 0,1	5,7 ± 2
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>	4,0 ± 1,3 0,7 ± 0,3	3,2 ± 0,8 0,4 ± 0,1	6,8 ± 4,3 0,6 ± 0,5

Примечание к табл. 1, 2: * – номер постоянной пробной площади; ** – давность последнего лесного пожара, лет. Прочерк означает отсутствие вида в напочвенном покрове. В числителе – продуктивность сухой фитомассы, г/м²; в знаменателе – доля участия вида, % от общей фитомассы.

Таблица 2

Продуктивность растений нижних ярусов в сосняках чернично-вороничных в условиях разного уровня атмосферного загрязнения на Кольском Севере

Виды отдельных растений или групп растений	Уровень загрязнения		
	умеренный		высокий
	Возраст древостоев и давность нарушения их пожарами		
	молодой (III кл. возраста)	спелый (XI кл. возраста)	молодой (III кл. возраста)
	41* (50)**	45 (120)	47 (100)
Лишайники	24 ± 12 21 ± 10	92 ± 25 27,8 ± 6	- -
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	16,5 ± 5 14,4 ± 4	17 ± 2 5,1 ± 3	14,5 ± 5 14,4 ± 5
<i>Vaccinium myrtillus</i>	47 ± 20 41 ± 11	102 ± 23 30,8 ± 3	12 ± 4 11,8 ± 4
<i>Empetrum hermaphroditum</i>	27 ± 23 23,6 ± 7	120 ± 40 36,3 ± 8	51 ± 13 50,2 ± 13
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>	- -	- -	24 ± 14 23,6 ± 11

В районах умеренного загрязнения окружающей среды изменений в видовом составе напочвенных лишайников в сравнении с фоновыми районами не наблюдается. Отмечается лишь нарушение формы роста слоевищ у отдельных видов (Горшков, 1990в). Общее покрытие мохово-лишайникового яруса по данным описаний 1982–1984 гг. составляло 54% (варьировало на конкретных пробных площадях в пределах 45–70%), а к настоящему времени снизилось почти втрое за счет отмирания части напочвенных лишайников и мхов.

Зона в 8–15 км от эпицентра промышленных выбросов характеризуется высоким уровнем загрязнения окружающей среды. Средняя концентрация двуокиси серы в воздухе за вегетационный период здесь превышает 40 мкг/м³, а содержание Ni и Си в растениях и почве в 150–200 раз больше по сравнению с фоновыми условиями (Лянгузова, 1990, 2010).

В этих условиях общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса не превышает 20%. Ярус слагают синузии четырех основных видов *Empetrum hermaphroditum* (проективное покрытие 5%), *Vaccinium myrtillus* (5%), *V. vitis-idaea* (3%) и *Arctostaphylos uva-ursi* (3%), иногда встречаются *Festuca ovina* L., *Diphasiastrum complanatum* (L.) Holub. и *Linnaea borealis*. Виды травяно-кустарничкового яруса (сомкнутость до 0,2, высота видов 8–10 см) размещаются по площади сообщества неравномерно, наблюдается приуроченность отдельных видов или формируемых ими

микроразделов к нанопонижениям и подкрановым пространствам сохранившихся деревьев. В условиях сильного атмосферного загрязнения резко снижается жизнеспособность парциальных кустов *Vaccinium myrtillus* и *V. vitis-idaea* и они имеют внешние повреждения листьев хлорозами и некрозами (Мазная, Лянгузова, 2010). Так, по данным Е.А. Мазной (2001) масса отмерших кустов в общей фитомассе надземных частей в таких условиях увеличивается более чем в 8 раз. Как показали наши исследования, в условиях сильного атмосферного загрязнения продуктивность фитомассы яруса в целом и отдельных видов снижается от 1,2 до 8,5 раз по сравнению с фоновыми условиями (табл. 1 и 2).

Мохово-лишайниковый ярус фактически разрушен (общее проективное покрытие не превышает 10%, мощность – 1–2 см). Е.Н. Андреевой (1990), что в условиях сильного промышленного загрязнения из состава мохового покрова выпадают *Pleurozium schreberi*, *Dicranum spp.*, *Sphagnum spp.* и *Ptilidium ciliare*, составляющие основу мохового покрова лесов фоновых районов и где их вклад в суммарное проективное покрытие мхов составляет 95% и более. В исследованных сосняках в мохово-лишайниковом ярусе встречаются лишь отдельные куртины *Cladonia cenotea* (3%), *C. gracilis* (1%), *C. crispata* (1%), *Cladina mitis* (1%) и *Lecidea granulose* (Hoffm.) Ach. (2%), которые приурочены к нанопонижениям. О разрушении мохово-лишайникового яруса в сосновых лесах

в условиях высокого уровня атмосферного загрязнения свидетельствуют также данные, приведенные в табл. 2.

В непосредственной близости от комбината «Североникель» (в радиусе 3–5 км) от старых древостоев остались редкие остовы мертвых деревьев на эродированной почве. В молодых сосновых лесах нормальный древостой не сформирован и можно наблюдать лишь остатки растительности нижних ярусов леса. Однако наличие живых растений, таких как *Vaccinium myrtillus*, *Empetrum hermaphroditum* и *Arctostaphylos uva-ursi*, имеющих, на первый вид красное окрашивание листьев, остальные – измельченные листовые пластинки, приурочены, как правило, к местам накопления и устойчивого сохранения снегового покрова, предохраняющего длительное время фотосинтетический аппарат от прямого воздействия токсикантов.

Заключение

Исследования живого напочвенного покрова, проведенные в сообществах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях хронического промышленного загрязнения на Европейском Севере показало следующее:

1. Продуктивность фитомассы растений живого напочвенного покрова в молодых и спелых фоновых сосняках лишайниковых составляет 974 и 1078 г/м² сухой фитомассы соответственно. Доля участия лишайников и видов травяно-кустарничкового яруса в этих сообществах составляет 78–87 и 11,0–18,6% от общей фитомассы напочвенного покрова. Доля мхов незначительна (1,3–2,1%). Продуктивность фитомассы напочвенного покрова молодых и спелых чернично-вороничных сосняков составляет 544 и 1069 г/м сухой фитомассы.

2. В условиях умеренного и сильного уровней атмосферного загрязнения выбросами медно-никелевого комбината в сосняках чернично-вороничных происходит сни-

жение продуктивности общей фитомассы напочвенного покрова, травяно-кустарничкового яруса и лишайников (в 5 раз и более) и происходит полное выпадение мхов из состава напочвенного покрова. В условиях максимального загрязнения растения приурочены, как правило, к местам накопления и устойчивого сохранения снегового покрова длительное время.

Список литературы

1. Андреева Е.Н. Динамика видового состава мхов // Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова. — Л.: Бот. ин-т им. В.Л.Комарова, 1990. — С. 133–141.
2. Горшков В.В. Напочвенный лишайниковый покров // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. — Л.: Наука, 1990в. — С. 141–144.
3. Лукина Н.В., Никонов В.В. Биогеохимические циклы в лесах севера в условиях аэротехногенного загрязнения. — Апатиты: КНЦ РАН, 1996. — Ч.1. — 216 с.
4. Лянгузова И. В. Содержание химических элементов в разных фракциях фитомассы сосны // Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова. — Л.: Бот. ин-т, 1990. — С. 48–55.
5. Лянгузова И.В. Толерантность компонентов лесных экосистем Севера России к аэротехногенному загрязнению: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — СПб., 2010. — С. 39.
6. Мазная Е.А. Влияние промышленных выбросов на состояние и структуру ценопопуляций *Vaccinium myrtillus* L. и *V. vitis-idaea* L. (Кольский полуостров) // Раст. ресурсы. — 2001. — Т. 37, Вып. 3. — С. 1–12.
7. Мазная Е.А., Лянгузова И.В. Эколого-популяционный мониторинг ягодных кустарничков при аэротехногенном загрязнении. — СПб.: ВВМ, 2010. — 195 с.
8. Методы изучения лесных сообществ. — СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. — 240 с.
9. Никонов В.В. Общие закономерности первичной биологической продуктивности и биогеохимических циклов на Крайнем севере // Сообщества Крайнего Севера и человек. — М.: Наука, 1985. — С. 79–90.
10. Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. — СПб.: Изд-во НИИ химии СПбГУ, 1997. — 210 с.
11. Ярмишко В.Т., Деева Н.М., Мазная Е.А., Леина Г.Д. Влияние промышленных выбросов на ассимиляционный аппарат *Pinus sylvestris* L. в *Vaccinium myrtillus* L. на Европейском Севере // Раст. ресурсы. — 1995. — Вып. 3.
12. Ярмишко В.Т., Ярмишко М.А. Воздействие атмосферного промышленного загрязнения на структуру и продуктивность растений нижних ярусов северотаежных сосновых лесов // Проблемы экологии растительных сообществ (отв. ред. В.Т.Ярмишко). — СПб.: ООО «ВВМ», 2005. — С. 130–139.