

УДК 582.475:504.73.05:504.3.054

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОНКИХ КОРНЕЙ ХВОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ ПО ПОЧВЕННОМУ ПРОФИЛЮ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВЫБРОСАМИ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

© 2002 г. Д. В. Веселкин

Институт экологии растений и животных УрО РАН
620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

Поступила в редакцию 13.11.2000 г.

Изучено распределение тонких проводящих корней ели сибирской, пихты сибирской и сосны обыкновенной по почвенному профилю в условиях загрязнения таежных экосистем тяжелыми металлами в комплексе с SO_2 . Установлено, что при интенсивном загрязнении корни деревьев не поселяются в лесной подстилке. Независимо от уровня техногенной нагрузки наибольшее количество проводящих корней сосредоточено в верхнем слое минеральной части почвы.

Ключевые слова: хвойные, тонкие корни, загрязнение почвы, тяжелые металлы.

Формирование адекватных представлений о причинах и механизмах деградации лесных сообществ, испытывающих техногенные воздействия, невозможно без комплексного исследования реакций разных частей растений – как их надземных, так и подземных органов. Между тем особенности строения корневых систем древесных в условиях антропогенных воздействий на настоящий момент исследованы несравненно слабее, чем соответствующие реакции надземных органов (фотосинтезирующих, генеративных, транспортных систем). Влияние техногенных факторов, различных поллютантов на корневые системы древесных, на их рост и функциональную активность изучали в лабораторных (Schier, 1985; Ставрова, 1990; McQuattie, Schier, 1990) и вегетационных экспериментах (Blaschke, 1986; Weiss, Agerer, 1986; Dighton, Skeffington, 1987; Vogelei, Rothe, 1988; Ставрова, 1990). Очевидно, что это не может заменить исследований в природных условиях, которые, к сожалению, немногочисленны (Кулагин, 1964; Ярмишко, 1984, 1990; Kouřek, Bystřičan, 1989).

В настоящей работе описываются особенности строения корневых систем эдификаторных видов хвойных таежной зоны (*Abies sibirica* Ledeb., *Picea obovata* Ledeb. и *Pinus sylvestris* L.) в условиях химического загрязнения природных экосистем отходами медеплавильного производства.

РАЙОН И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые исследования выполнены в июле–сентябре 1997 г. на территориях, подверженных действию аэропромвыбросов Среднеуральского медеплавильного завода (подзона южной тайги,

Средний Урал, окрестности г. Ревды). Загрязнители – пыль тяжелых металлов (Cd, Cu, Pb, Zn) и SO_2 . Пробные площади заложены в елово-пихтовых лесах и искусственных сосновых насаждениях II класса возраста разной степени нарушенности, расположенных в средних частях пологих склонов на серых лесных почвах.

Встречаемость тонких проводящих корней диаметром менее 3 мм в органогенных горизонтах определяли в 20 прикопах, располагающихся в пределах пробной площади случайно, исключая пристволовые возвышения и окна в древостое. Фиксировали также наличие корней в горизонте А1. Так как тонкие корни деревьев в лесных сообществах распределены в почве равномерно, случайно и независимо от расположения надземных частей (Оя, Лыхмус, 1985), то показатель встречаемости тонких корней использован для характеристики освоения корнями площади фитоценоза.

Особенности вертикального распределения тонких корней изучали в елово-пихтовых сообществах упрощенным методом траншей (Красильников, 1983) в трех точках на различном удалении от предприятия: 1 и 2 км (импактная), 4,5 и 7 км (буферная) и 30 км (фоновая зона техногенной нагрузки). Почвенные разрезы глубиной 0,5–0,7 м закладывали на расстоянии 0,5 м от основания ствола средних по диаметру деревьев пихты. После сухого обрушения стенки разреза на глубину 10 см определяли количество тонких корней, видимых на участке стенки шириной 0,5 м. Во всех случаях учитывали только живые корни.

Концентрации Cd, Cu и Pb в подстилке измерены в кислотных вытяжках (5%-ная HNO_3 , экстракция – одни сутки) на спектрофотометре ААС-3



Рис. 1. Зависимость встречаемости тонких корней хвойных в подстилке от содержания в ней тяжелых металлов:
1 – елово-пихтовые; 2 – сосновые леса; линии – аппроксимация параболой второго порядка.

фирмы Карл Цейс в лаборатории экологической токсикологии ИЭРиЖ УрО РАН. Уровень загрязнения оценивали с помощью индекса суммарной токсической нагрузки, который рассчитывали как сумму превышений концентраций металлов над соответствующими фоновыми значениями (Воробейчик, 1995).

РЕЗУЛЬТАТЫ

На территориях, примыкающих к предприятию, содержание кислоторастворимых форм кадмия в подстилке превышает аналогичный фоновый показатель в 3–5 раз, свинца – в 12–18 раз, меди – в 40–60 раз. С ростом токсической нагрузки заметно снижается встречаемость тонких корней хвойных в подстилке, и при высоком уровне загрязнения органогенные горизонты практически не заселяются тонкими корнями древесных как в темнохвойных, так и в сосновых сообщест-

вах (рис. 1). Почти полностью отсутствуют в подстилке вблизи предприятия корни растений травяно-кустарничкового яруса.

В исследованных фоновых сообществах встречаемость тонких корней в подстилке варьирует на уровне 36–60% в темнохвойных сообществах и 44–85% в сосняках. Собственно проводящих корней в органогенных горизонтах, как правило, немного. Обычно в подстилке, толщина которой составляет 1.2–1.5 см, локализованы терминальные корневые окончания, представленные ростовыми корнями и микоризами. Несколько более высокие значения встречаемости корней в подстилке (62–84%), установлены нами для коренных и условно-коренных темнохвойных лесов Среднего Урала (Висимский государственный заповедник).

Максимальная встречаемость тонких корней в подстилке (до 100%, в среднем 62–93%) отмечена в темнохвойных сообществах, испытывающих умеренную техногенную нагрузку. Здесь хорошо сформированные подстилки толщиной до 5–7 см сильно переплетаются корнями деревьев, которые размещаются по всей ее толще, за исключением верхних подгоризонтов А_{0Т} и А_{0'}. Для сосняков повышенной встречаемости корней в подстилке сообществ с умеренным загрязнением не найдено.

Мощные, состоящие из слабо разложившихся растительных остатков подстилки сильно загрязненных участков в минимальной степени заселяются тонкими корнями. На значительной части пробных площадей импактной зоны показатель встречаемости корней опускается до нулевых значений. Нередко тонкие корни обнаруживаются лишь на глубине 10–15 см – доля таких прикопов составляет 62% (пихто-ельники) и 73% (сосняки). На некоторых значительно загрязненных территориях встречаемость корней в подстилке остается почти на фоновом уровне.

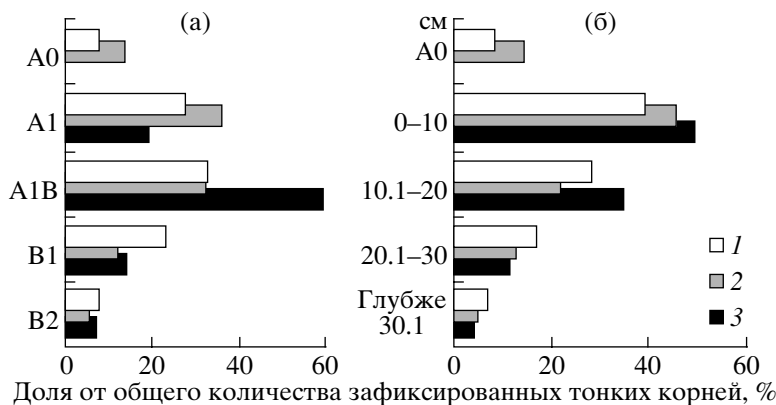


Рис. 2. Распределение тонких проводящих корней пихты сибирской по почвенным горизонтам (а) и слоям почвы мощностью 10 см (б) в фоновой (1), буферной (2) и импактной (3) зонах техногенной нагрузки.

По мере приближения к предприятию возрастает изменчивость рассматриваемого показателя между пробными площадями: в фоновых условиях значения коэффициента вариации составляют 22–23% для обоих рассматриваемых типов сообществ, а в условиях загрязнения – 171% в темнохвойных и 141% в сосновых сообществах.

На примере корневых систем пихты сибирской при исследовании распространения тонких корней по всему почвенному профилю установлено, что в фоновых и умеренно нарушенных сообществах в подстилке локализуется от 3 до 44% (в среднем 8–14%) общего количества тонких корней, фиксируемых на стенке разреза. На территориях, примыкающих к предприятию, проводящие корни в этом горизонте не обнаружены (рис. 2а). В гумусовом горизонте вблизи предприятия содержится несколько меньше корней, чем в фоновых условиях, а в горизонте А1В, наоборот, больше, однако во всех зонах техногенной нагрузки наибольшая часть корней приходится на верхний 10-см слой минеральной части почвы – от 34 до 69% всех тонких корней. Количество тонких корней последовательно убывает с нарастанием глубины (рис. 2б).

ОБСУЖДЕНИЕ

Отсутствие тонких проводящих, а следовательно, и сосущих корней хвойных в подстилке в условиях сильного загрязнения является необычной, нетипичной ситуацией, не имеющей природных аналогов. Для исследованных видов растений, особенно темнохвойных, характерна поверхностная локализация проводящих и сосущих корней с активным освоением органогенных горизонтов, в том числе и в экстремальных условиях произрастания (Орлов, Кошельков, 1971; Абражко, 1973; Бобкова, 1987; Никонов, 1987).

Ранее глубокое залегание корней всех фракций и их интенсивное отмирание в верхних слоях почвы было описано у сосны обыкновенной под воздействием выбросов металлургического предприятия (Ярмишко, 1984, 1990), а также при накоплении в почвах магнезитовой пыли (Кулагин, 1964).

Как правило, в лесной подстилке наблюдаются большие концентрации поллютантов, чем в минеральной части почвы (Чертов и др., 1990), что подтверждается при сравнении наших данных о загрязнении подстилки со сведениями о загрязнении почвы в районе исследований (Воробейчик, 1995). Дополнительное техногенное подкисление подстилки (Воробейчик, 1995) способствует возрастанию подвижности (токсичности) ионов металлов. В связи с этим наиболее вероятно, что исчезновение тонких проводящих корней из органогенных горизонтов сильно загрязненных территорий свя-

зано с их исключительно высокой токсичностью. Прямое токсическое действие ионов металлов на рост корней известно (Schier, 1985; Ставрова, 1990), и этим часто объясняется интенсивное отмирание корней деревьев в окрестностях промышленных предприятий (Ярмишко, 1984, 1990; Kourek, Bystřičan, 1989). Возможно также, что наблюдаемые реакции проводящих корней деревьев обусловлены обеднением техногенных подстилок доступными формами биогенных элементов (Воробейчик и др., 1994) или их неблагоприятными водно-воздушными характеристиками.

В таежных экосистемах подстилка является важнейшим депо биогенов (Никонов, 1987; Карпачевский, 1981), и активное ее освоение корнями растений рассматривается как приспособление, направленное на интенсификацию биологического круговорота, предотвращение потерь биогенов из экосистемы и лучшее снабжение ими растений (Бобкова, 1987; Никонов, 1987). Поэтому, видимо, невозможность использовать подстилку в качестве источника минеральных элементов негативно отражается на состоянии деревьев, произрастающих на загрязненных территориях. Представляется, что на уровне экосистемы в целом описанная картина может способствовать дальнейшему замедлению биологического круговорота на нарушенных территориях.

Выражаю искреннюю признательность сотрудникам ИЭРиЖ УрО РАН к.б.н. Е. Л. Воробейчику и Э. Х. Ахуновой за содействие в проведении химических анализов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абражко М.А.* Закономерности распределения и фракционный состав биомассы подземных частей // Структура и продуктивность еловых лесов южной тайги. Л.: Наука, 1973. С. 109–117.
- Бобкова К.С.* Биологическая продуктивность хвойных лесов Европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 156 с.
- Воробейчик Е.Л.* Изменение мощности лесной подстилки в условиях химического загрязнения // Экология. 1995. № 4. С. 278–284.
- Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г.* Экологическое нормирование техногенных загрязнений экосистем (локальный уровень). Екатеринбург: Наука, 1994. 280 с.
- Карпачевский Л.О.* Лес и лесные почвы. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 264 с.
- Красильников П.К.* Методика полевого изучения подземных частей растений (с учетом специфики ресурсо-ведческих исследований). Л.: Наука, 1983. 208 с.
- Кулагин Ю.З.* Влияние магнезитовой пыли на древесные растения // Зап. Свердловского отд. Всесоюзного бот. общества. Свердловск, 1964. С. 155–161.
- Никонов В.В.* Почвообразование на северном пределе сосновых биогеоценозов. Л.: Наука, 1987. 142 с.

- Орлов А.Я., Кошельков С.П. Почвенная экология сосны. М.: Наука, 1971. 322 с.
- Оя Т.А., Лыхмус К.Н. Горизонтальное распределение корней ели в средневозрастном древостое // Лесоведение. 1985. № 1. С. 44–47.
- Ставрова Н.И. Влияние атмосферного загрязнения на возобновление хвойных пород // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. С. 121–144.
- Чертов О.Г., Лянгузова И.В., Друзина В.Д., Меньшикова Г.П. Влияние на лесные почвы загрязнения серой в комплексе с тяжелыми металлами // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. С. 65–72.
- Ярмишко В.Т. Оценка состояния подземных органов растений в условиях промышленного загрязнения // Влияние промышленных предприятий на окружающую среду. Пушино, 1984. С. 230–231.
- Ярмишко В.Т. Особенности развития корневых систем сосны // Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова / Под ред. Норина Б.Н. и Ярмишко В.Т. Л., 1990. С. 84–94.
- Blaschke H. Einfluss von saurer Beregnung und Kalkung auf die Biomasse und Mykorrhizierung der Feinwurzeln von Fichten // Forstw. Cbl., 1986. Bd. 105. H. 4. S. 324–329.
- Dighton J., Skeffington R.A. Effects of artificial acid precipitation on the mycorrhizas of Scots pine seedlings // New Phytol. 1987. V. 107. № 2. P. 191–202.
- Kocourek R., Bystřičan A. Fine root and mycorrhizal biomass in norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) forest stands under different pollution stress // Ecol. and Appl. Aspects Ecto- and Endomycorrhizal Assoc. Pt 1. Praha, 1989. P. 235–242.
- McQuattie C.J., Schier G.A. Response of red spruce seedlings to aluminum toxicity in nutrient solution: alterations in root anatomy // Can. J. For. Res. 1990. V. 20. № 7. P. 1001–1011.
- Schier G.A. Response of red spruce and balsam fir seedlings to aluminum toxicity in nutrient solutions // Can. J. For. Res. 1985. V. 15. № 1. P. 29–33.
- Vogelei A., Rothe G.M. Die Wirkung von Säure und Aluminium auf der Nährelementgehalt und der histologischen Zustand nichtmykorrhizierter Fichtenwurzeln (*Picea abies* [L.] Karst.) // Forstw. Cbl. 1988. Bd 107. H. 4. S. 348–357.
- Weiss M., Agerer R. Reaktionen des Wurzelsystems von *Picea abies* (L.) Karst. auf Mineralstoffernährung und auf Belastung des Sprosses mit Ozon und saurem Nebel // Forstw. Cbl. 1986. Bd 105. H. 4. S. 230–233.