

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКОРИЗЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Изучено анатомическое строение эктомикориз сосны обыкновенной в условиях загрязнения окружающей среды. Реакцию эктомикориз можно описать как ослабление или повреждение. Это выражается в ухудшении состояния как растительного (снижение радиуса корня растения, возрастание числа отмерших и потерявших тургор клеток коры корня), так и грибного (снижение толщины чехлов) компонента микоризных ассоциаций. Предполагается, что функционирование микориз при загрязнении протекает менее эффективно, чем в фоновых лесах.

**Ключевые слова:** экология, микориза, сосна обыкновенная, промышленное загрязнение.

Успешное микоризообразование, устойчивость и разнообразие связей древесных растений с микоризными грибами рассматриваются в настоящее время как необходимое условие для успешного развития отдельных растений и лесных насаждений в целом [9, 8, 6, 4]. Предполагается, что именно вступление в мутуалистические взаимодействия с разными комплексами микоризообразователей позволяет древесным осваивать широкий спектр местообитаний и занимать ключевые позиции в лесных экосистемах [4].

За счет специфических корневых выделений и симбиоза с микоризообразователями сосна по сравнению со многими другими древесными растениями лучше поглощает труднорастворимые органические и минеральные вещества из почвы [6, 7]. Сосна обыкновенная способна формировать микоризу во всех горизонтах почвы, вплоть до самых глубоких – отмечен факт образования микориз на глубине более 2,5 м в вейниково-разнотравных сосняках [7].

Исследования закономерностей техногенной трансформации эктомикоризных ассоциаций могут иметь определенное значение для понимания механизмов устойчивости лесов, поскольку эктомикоризы, являясь физиологически активной частью корневой системы растений, в первую очередь сталкиваются с неблагоприятными изменениями, обусловленными действием техногенных факторов. Большая часть литературных данных свидетельствует о негативной реакции эктомикориз, о снижении успешности микоризообразования и повреждении микориз под влиянием промышленного загрязнения. Вместе с тем имеются и противоположные результаты, в

соответствии с которыми делается вывод о достаточной устойчивости эктомикориз к техногенным нагрузкам [1].

Сосна обыкновенная – облигатный микоризообразователь, уже в первый год формирующий микоризу [7].

### Район и методика исследований

Работа проведена на территории Уфимского промышленного центра, расположенного на Бельско-Уфимском водоразделе, имеющем вид плато, сильно расчлененного притоками рек Белой, Уфы, оврагами. Согласно дробному лесорастительному районированию [5] территория г. Уфы относится к подзоне широколиственных лесов лесной и лесостепной зон в пределах Русской равнины.

Уфимский промышленный центр относится к зоне повышенного загрязнения воздуха: промышленное загрязнение Уфы, смешанное с преобладанием углеводородной составляющей [2].

На разном удалении от группы нефтехимических предприятий были заложены 10 постоянных и 10 временных пробных площадей в культурах сосны обыкновенной из числа санитарно-защитных насаждений г. Уфы. Относительным контролем выступает южная часть города и пригород.

Пробы корней сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) отбирали из верхнего слоя минеральной части почвы (с глубины 0-5 см от лесной подстилки), в междурядьях, фиксировали в формалине.

Особенности формирования эктомикориз анализировали на поперечных срезах поглощающих корней толщиной 10 мкм под микроскопом. Учитывались следующие признаки: подтип

Таблица 1. Основные показатели состояния микориз сосны обыкновенной в условиях Уфимского промышленного центра

Признак	Нефтехимическое загрязнение	Контроль
Разнообразие микориз		
Число подтипов	3-5	8
Индекс Шеннона	1,08-1,26	1,44
Доля плектенхиматических чехлов, %	22,2-37,3	30,3
Доля псевдопаренхиматических и двойных чехлов, %	25,3-24,4	46,5
Доля бесструктурных чехлов, %	33,3-37,3	23,2
Качественные признаки		
Интенсивность микоризации, %	63,0-75,0	82,5
Доля корней с сохраненным тургором, %	39,5** - 53,3	60,0
Доля корней с танниновыми клетками, %	80,9-94,0	86,1
Размерные и счетные признаки эктомикориз		
Средний общий диаметр, мкм	178,34+3,06	181,36+3,95
Средний диаметр корня, мкм	162,30+2,81	163,43+3,63
Средняя толщина чехла, мкм	16,14+0,62*	18,11+0,81
Толщина плектенхиматических чехлов, мкм	12,31+0,81***	18,92+1,02
Толщина псевдопаренхиматических и двойных чехлов, мкм	26,38+2,03	23,08+1,92
Толщина бесструктурных чехлов, мкм	10,54+0,60	9,60+0,96
Средняя доля объема чехла, %	17,05+0,56	18,75+0,73
Среднее число слоев танниновых клеток, слоев	1,59+0,07***	1,20+0,09
Среднее число слоев живых клеток, слоев	1,97+0,08***	2,43+0,10

Значимость различий с контрольными значениями: \* -  $p < 0,1$ ; \*\* -  $p < 0,01$ ; \*\*\* -  $p < 0,001$

грибного чехла; его толщина; общий радиус микоризного окончания; число слоев клеток коры корня и отдельно число слоев отмерших, «танниновых» клеток коры; встречаемость окончаний с утерянным тургором клеток коры корня.

### Результаты и их обсуждение

Нами зафиксировано развитие микориз на глубине 2 м. С увеличением глубины число микоризных окончаний значительно уменьшается [10]. Интенсивность микоризации древесных растений зависит от экологических условий произрастания.

Изучение микориз сосны обыкновенной в условиях нефтехимического загрязнения [3] позволило выявить ряд особенностей. Оценка жизнеспособности поглощающих корней показала, что с увеличением уровня загрязнения основные показатели их состояния изменяются в худшую сторону. Об этом свидетельствует, например, низкая представленность поглощающих корней с сохраненным тургором клеток коры корня в условиях нефтехимического загрязнения (табл.). О снижении физиологической ак-

тивности корней сосны при нефтехимическом загрязнении свидетельствует также повышенное обилие в этих условиях танниновых (отмерших) клеток в корнях (в среднем  $1,59 \pm 0,06$  слоя) по сравнению с фоновым древостоем ( $1,20 \pm 0,08$  слоя) (табл.).

В окрестностях нефтехимических предприятий отмечается уменьшение представленности микориз со светлоокрашенными грибными чехлами, которые традиционно рассматриваются как окончания с высокой физиологической активностью. Богатство наборов грибных чехлов снижается при загрязнении в 1,5-2 раза. Так, в условиях относительного контроля высока доля микориз с мощными, хорошо структурированными псевдопаренхиматическими чехлами, обилие которых снижается при увеличении степени загрязнения в 1,8 раза. К выводу о худшем состоянии микориз при промышленном воздействии приводит и анализ количественных анатомических параметров строения эктомикоризных окончаний.

К сходным выводам приводит и анализ зависимости процессов микоризообразования

от уровня загрязнения. Следует отметить, что в нарушенных лесах существенно понижена интенсивность микоризации поглощающих корней, снижается доля корней, несущих активные микоризные чехлы. Так, если в контрольных условиях микоризовано 83% всех поглощающих корней, то в условиях нефтехимического

загрязнения – только 63%, то есть более трети поглощающих корней сосны обыкновенной в условиях загрязнения не заселены микоризными грибами, что не совсем типично для сосны (вида облигатно микотрофного) при ее произрастании в нарушенных сообществах.

---

**Список использованной литературы:**

1. Веселкин Д.В. Анатомическое строение эктомикориз *Abies sibirica* Ledeb. и *Picea obovata* Ledeb. в условиях загрязнения лесных экосистем выбросами медеплавильного комбината // Экология. 2004. № 2. С. 90-98.
2. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Башкортостан в 2005 году. Уфа, 2006. 301 с.
3. Зайцев Г.А., Веселкин Д.В. Масса, жизнеспособность и микоризация тонких корней сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях нефтехимического загрязнения // Сб. докл. науч.-практ. конф. «Лесное образование, наука и хозяйство». Уфа: РИОРУНМЦМОРБ, 2003. С. 159-163.
4. Каратыгин И.В. Коэволюция грибов и растений. СПб: Гидрометеоздат, 1993. 115 с.
5. Курнаев С.Ф. Лесорастительное районирование СССР. М.: Наука, 1973, 203 с.
6. Лобанов Н.В. Микотрофность древесных растений. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 216с.
7. Физиология сосны обыкновенной / Н.Е. Судацкова, Г.И. Гире, С.Г. Ирокушкин и др. Новосибирск: Наука, 1990. 248 с.
8. Харли Дж.Л. Биология микоризы // Микориза растений. М.: Сельхозиздат, 1963. С. 15-244.
9. Шемаханова Н.М. Микотрофия древесных пород. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 374 с.
10. Yarmishko V.T., Yarmishko M.A. Impact of aerial pollution on root systems of Scots pine in a pine strands of Kola peninsula // Proc. of the Int. Workshop «Aerial pollution in Kola Peninsula». St.-Petersburg-Apatity, 1993. P. 252-258.