

УДК 630\*181.3:504.73.05:504.3.054

Д. В. Веселкин, В. А. Мухин

(Институт экологии растений и животных УрО РАН)

С. А. Шавнин, В. В. Фомин, А.С. Попов

(Уральский государственный лесотехнический университет)

## СТРОЕНИЕ ЭКТОМИКОРИЗ И СОСТОЯНИЕ ДРЕВОСТОЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СУМЗа

*Изучено влияние промышленных загрязнений на строение эктомикориз деревьев сосны. Установлен ряд анатомо-морфологических характеристик эктомикориз, которые могут быть использованы при диагностике состояния древостоев. Показана их взаимосвязь со степенью угнетения роста сосновых насаждений.*

Техногенное изменение эдафических условий и соответственно процессов минерального питания растений рассматривается в качестве одной из ведущих причин деградации лесов в окрестностях промышленных предприятий [1, 2, 3]. У основных лесообразующих видов деревьев физиологически активная часть корневой системы, осуществляющая непосредственное поглощение минеральных элементов, представлена эктомикоризами [4]. Поэтому именно эктомикоризы в первую очередь сталкиваются с техногенно обусловленными неблагоприятными почвенными факторами и изменение их состояния (а не, например, скелетных корней) будет иметь наибольшие последствия для режима минерального питания растений в условиях техногенных воздействий.

В соответствии с большей частью имеющейся информации, реакция эктомикоризных симбиозов на различные техногенные вмешательства является негавивной – микоризообразование в данных условиях или ослабляется или сильно подавляется [5, 6, 7, 3, 8 и др.]. Однако в условиях загрязнения естественных экосистем тяжелыми металлами в комплексе с  $SO_2$  эктомикоризы темнохвойных растений (*Abies sibirica* Ledeb., *Picea obovata* Ledeb.) демонстрируют высокую устойчивость [9, 10]. Для правомерности распространения этого вывода на возможно большее количество объектов предприняты исследования эктомикориз сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях загрязнения окружающей среды выбросами медепла-

вильного завода. Кроме того, задачей данной работы являлось изучение возможностей использования отдельных характеристик эктомикориз для оценки состояния сосновых древостоев и поиск новых диагностических параметров состояния корневой системы деревьев.

### Район и методика исследований

Работы проведены в искусственных древостоях сосны обыкновенной в зоне влияния выбросов Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ), г. Ревда. В промвыбросах СУМЗа по массе преобладает  $\text{SO}_2$ , но выраженное токсическое действие на живые организмы оказывает комплекс металлов, содержащихся в выбросах в виде пыли.

Шесть пробных площадей заложены в северном и западном направлениях от завода в импактной (4 км), буферной (8-12 км) и фоновой (18-20 км) зонах воздействия (табл. 1). Тип леса – сосняк зеленомошный (пробные площади ПП 18, 20, 1, 2) и сосняк разнотравный (8, 7), возраст – 25-35 лет, почвы – дерново-подзолистые с различной степенью оподзоливания. Вблизи предприятия содержание кислоторастворимых форм  $\text{Cu}$  в подстилке выше фонового в 26 раз,  $\text{Pb}$  - в 11 раз,  $\text{Cd}$  - в 3 раза.

Регистрируется техногенное подкисление почв и выраженное замедление деструкции растительного опада [11]. Общий запас в древостоях снижается с 226-300  $\text{м}^3/\text{га}$  на фоновых территориях до 31-139  $\text{м}^3/\text{га}$  на нарушенных, при этом класс бонитета изменяется с I-II до III-IV [6]. В условиях загрязнения корни сосны отсутствуют в лесной подстилке, а зачастую и в верхней части минеральных горизонтов почвы [12]. Образцы корней и эктомикориз отобраны в октябре 1996 г. из верхних 3-5 см минеральной части почвы (гумусово-аккумулятивный горизонт). Образцы фиксировали в 4%-ном формалине. Поперечные срезы микоризных окончаний (около 800 срезов) толщиной 10 мкм просматривали и измеряли в глицерине без окрашивания. У каждого окончания фиксировали или рассчитывали следующие параметры: наличие грибного чехла; его подтип [13]; общий радиус окончания; толщину чехла; радиус корня растения в микоризном окончании; долю чехла в общем объеме микоризного окончания. Фиксировали встречаемость или отсутствие в наружных слоях экзодермы танниновых клеток - уплощенных клеток с темноокрашенным содержимым.

Таблица 1

Местоположение, уровень загрязнения подстилки и состояние  
сосновых древостоев в районе исследований

| Показатели   | Номера ПП (зоны технической нагрузки) |        |        |        |         |
|--|---------------------------------------|--------|--------|--------|---------|
|  | 18 (ф)                                | 20 (ф) | 2 (б)  | 1 (б)  | 7 (и)   |
| Состояние по высоте, усл. ед.                          | 62                                    | 52     | 81     | 63     | 5       |
| Состояние по приростам по высоте за 5 лет, усл. ед.    | 62                                    | 76     | 71     | 55     | 5       |
| Состояние по приростам по высоте за 10 лет, усл. ед.   | 62                                    | 79     | 76     | 56     | 5       |
| Состояние по диаметру, усл. ед.                        | 62                                    | 66     | 70     | 35     | 5       |
| Состояние по приростам по диаметру за 5 лет, усл. ед.  | 62                                    | 33     | 20     | 19     | 5       |
| Состояние по приростам по диаметру за 10 лет, усл. ед. | 62                                    | 25     | 17     | 19     | 5       |
| Обобщенный показатель состояния, усл. ед.              | 62                                    | 51     | 47     | 36     | 5       |
| <b>Местоположение ПП</b>                               |                                       |        |        |        |         |
| Расстояние от СУМЗа, км                                | 20.00                                 | 20.00  | 12.00  | 8.50   | 4.00    |
| Румб   | запад                                 | запад  | север  | запад  | север   |
| <b>Уровень нагрузки</b>                                |                                       |        |        |        |         |
| Индекс загрязнения подстилки, усл. ед.                 | 1,46                                  | 1,41   | 3,32   | 5,57   | 20,26   |
| Содержание Cu, мкг/г                                   | 78,58                                 | 79,23  | 336,58 | 505,41 | 2436,60 |
| Содержание Cd, мкг/г                                   | 3,67                                  | 3,55   | 3,94   | 10,18  | 11,50   |
| Содержание Pb, мкг/г                                   | 66,23                                 | 61,31  | 127,77 | 171,60 | 776,06  |

При оценке состояния сосновых древостоев использовали разработанную ранее модель, основанную на применении функции Харингтона [14, 15]. С помощью данного подхода определяли показатели состояния (ПС) по отдельным морфометрическим характеристикам (среднему диаметру, высоте и приростам по диаметру и высоте за пять и десять лет) и величину обобщенного показателя состояния (ОПС) на каждой ПП. В модели худшему состоянию древостоев присваивалась величина ПС пять баллов, а контрольному (фоновому) – 62 балла. Морфометрические характеристики

модельных деревьев измеряли стандартными таксационными методами. На каждой ПП выбирали 20 модельных деревьев из группы модальных по высоте и диаметру. Статистическую обработку данных проводили стандартными методами.

### Результаты

*Строение микориз.* Успешность микоризообразования у сосны в исследуемом токсическом градиенте не зависит от уровня нагрузки. Значения интенсивности микоризации поглощающих корней составляют в ненарушенных условиях 83-92 %, при умеренном воздействии – 82-91 %, при сильном – 90 %. В фоновых сообществах микоризы имеют типичную для рода *Pinus* морфологию с преобладанием дихотомически ветвящихся форм (вилочки, коралловидные). В условиях сильного загрязнения дважды и более раз дихотомически ветвящиеся микоризы полностью исчезают, а большая часть микориз представлена простыми булавовидными окончаниями.

Внутреннее строение микоризных окончаний остается во всех случаях типичным для эумицетных хальмофаговых эктомикориз, но их качественные и размерные признаки изменяются в зависимости от внешних условий.

По мере роста уровня загрязнения происходит заметное (в 1,7 – 2,3 раза) снижение богатства наборов подтипов грибных чехлов и собственно их разнообразия (в 1,2 – 1,4 раза), о чем можно судить по динамике значений индекса разнообразия Шеннона (табл. 2).

На ближайших к предприятию площадях представлены чехлы следующих подтипов (в порядке убывания численности): В, SR (бесструктурные), F и G. На фоновых территориях доминирующее положение плектенхиматического чехла подтипа В сохраняется, но второе место устойчиво занимает чехол подтипа F, за которым следуют другие псевдопаренхиматические и двойные чехлы. Суммарная доля чехлов со сложной структурой - псевдопаренхиматических и двойных снижается в изученном техногенном градиенте по мере роста уровня загрязнения в 3,1 – 5,4 раза, а обилие бесструктурных чехлов, не дифференцированных на различные клеточные элементы, увеличивается более чем в 4 раза.

Общие поперечные размеры микориз при приближении к предприятию возрастают и достигают при наибольшем загрязнении 112 % от фоновых значений. Это обусловлено увеличением диаметра собственно корней, входящих в состав эктомикориз. Средняя толщина всей совокупности

чехлов в условиях загрязнения тяжелыми металлами не изменяется. Однако это не является свидетельством того, что техногенное влияние на грибной компонент эктомикоризных симбиозов отсутствует. Учитывая, что многие особенности строения эктомикоризных окончаний и, в частности, толщина чехла зависят от типа его анатомического сложения [5], имеет смысл проанализировать динамику размерных анатомических признаков отдельно для групп микориз с чехлами разной базовой анатомической структуры.

Несмотря на отсутствие техногенной динамики средней толщины, толщина чехлов в пределах групп вблизи предприятия увеличивается. Мощность плектенхиматических чехлов возрастает на треть по сравнению с фоновыми величинами (на 34 %), псевдопаренхиматических – на четверть (на 24 %), бесструктурных – на 22 % (на уровне тенденции).

Та же закономерность характерна и для производного параметра – относительной доли, занимаемой грибным чехлом в объеме микоризного окончания; разности с фоновыми величинами соответственно для плектенхиматических и псевдопаренхиматических чехлов составляют 22 % и 18 %.

Заметим, что поперечные размеры корня в микоризах с наиболее массовыми плектенхиматическими и псевдопаренхиматическими чехлами по мере роста нагрузки также увеличиваются.

На всех пробных площадях наименьшей толщиной обладают бесструктурные чехлы, плектенхиматические занимают промежуточное положение, а псевдопаренхиматические являются самыми развитыми. В связи с этим, очевидно, что неизменность в токсическом градиенте средней толщины всей совокупности чехлов обусловлена двумя различными одновременно идущими процессами: изменением относительной частоты встречаемости микориз с чехлами разного сложения и изменением толщины чехлов в пределах каждой группы. Действительно, обилие наиболее мощных псевдопаренхиматических чехлов вблизи предприятия уменьшается, но толщина преобладающих в данных условиях плектенхиматических и бесструктурных чехлов по сравнению с их толщиной в не нарушенных условиях, возрастает. В результате средняя толщина оказывается примерно константной при всех уровнях загрязнения.

Таблица 2

Параметры строения эктомикориз в разных зонах  
техногенной нагрузки

| Параметры   | Зона нагрузки и ПП |      |      |          |      |           |
|---|--------------------|------|------|----------|------|-----------|
|   | фоновая            |      |      | буферная |      | импактная |
|   | пп8                | пп18 | пп20 | пп1      | пп2  | пп7       |
| <b>Параметры разнообразия</b>   |                    |      |      |          |      |           |
| Число подтипов, шт./ПП  | 8                  | 6    | 6    | 7        | 5    | 4         |
| Индекс богатства Маргалефа  | 1,52               | 1,19 | 1,09 | 1,30     | 0,87 | 0,65      |
| Индекс разнообразия Шеннона   | 1,41               | 1,27 | 1,19 | 1,37     | 1,13 | 0,99      |
| Доля плектенхиматических чехлов, %                                    | 54,8               | 46,0 | 63,8 | 51,2     | 55,9 | 49,4      |
| Доля псевдопаренхиматических чехлов, %                                | 38,1               | 54,0 | 36,2 | 41,5     | 30,8 | 10,6      |
| Доля бесструктурных чехлов, %   | 7,1                | 0,0  | 0,0  | 7,3      | 13,3 | 40,0      |
| <b>Общие размерные параметры</b>                                      |                    |      |      |          |      |           |
| Общий радиус, мкм   | 171                | 177  | 164  | 166      | 168  | 192       |
| Радиус корня, мкм   | 153                | 159  | 148  | 149      | 153  | 173       |
| Толщина чехла, мкм  | 19                 | 19   | 17   | 18       | 16   | 19        |
| Доля объема чехла, %  | 20,5               | 20,7 | 19,2 | 20,8     | 18,4 | 19,8      |
| <b>Размерные параметры микориз с плектенхиматическими чехлами</b>     |                    |      |      |          |      |           |
| Радиус корня, мкм   | 155                | 158  | 151  | 150      | 149  | 170       |
| Толщина чехла, мкм  | 16                 | 14   | 13   | 15       | 13   | 19        |
| Доля объема чехла, %  | 17,5               | 16,7 | 15,6 | 17,8     | 16,2 | 20,3      |
| <b>Размерные параметры микориз с псевдопаренхиматическими чехлами</b> |                    |      |      |          |      |           |
| Радиус корня, мкм   | 153                | 161  | 144  | 151      | 166  | 155       |
| Толщина чехла, мкм  | 24                 | 23   | 23   | 23       | 22   | 29        |
| Доля объема чехла, %  | 25,6               | 24,1 | 25,5 | 25,1     | 22,5 | 29,6      |
| <b>Размерные параметры микориз с бесструктурными чехлами</b>          |                    |      |      |          |      |           |
| Радиус корня, мкм   | 145                | -    | -    | 122      | 143  | 182       |
| Толщина чехла, мкм  | 13                 | -    | -    | 12       | 16   | 16        |
| Доля объема чехла, %  | 16,2               | -    | -    | 16,6     | 18,3 | 16,5      |

Уточняют эту ситуацию данные табл. 3, где представлены оценки доли дисперсии проанализированных признаков, объясняемой различными причинами варьирования эктомикориз. Можно сделать вывод, что радиус корня, входящего в состав эктомикоризного окончания, определяется только степенью загрязнения территории (зоной техногенной нагрузки), не будучи зависимым от типа сложения грибного чехла на поверхности. Толщина чехла и его относительный объем, напротив, в наибольшей степени детерминируются типом его сложения. Степень техногенной нарушенности исходных условий также обуславливает определенное варьирование данных показателей, но в заметно меньшей степени. Важным выводом, вытекающим из анализа представленных данных, является то, что разнообразие грибных чехлов, а точнее – соотношение количества эктомикориз с чехлами разного анатомического сложения, может рассматриваться как «функциональный» признак, поскольку изменение этого соотношения вызывает трансформацию размерных, экологически нагруженных параметров.

Таблица 3

Доля (%) дисперсии параметров строения эктомикоризных окончаний, объясняемая влиянием типа сложения чехла и зоной техногенной нагрузки

| Параметр          | Вид анализа и фактор |               |   |               |  |               |                |
|-------------------|----------------------|---------------|---|---------------|--|---------------|----------------|
|                   | однофакторный        | однофакторный | двухфакторный без взаимодействия факторов |               | двухфакторный с взаимодействием факторов |               |                |
|                   | тип сложения         | зоны нагрузки | тип сложения                              | зоны нагрузки | тип сложения                             | зоны нагрузки | взаимодействие |
| Радиус корня      | 0,72*                | 4,41****      | 0,03*                                     | 3,72***       | 0,12*                                    | 2,50***       | 1,58*          |
| Толщина чехла     | 25,80***             | 0,43*         | 29,42****                                 | 4,06****      | 16,48****                                | 2,78****      | 0,37*          |
| Доля объема чехла | 20,52***             | 0,05*         | 21,96****                                 | 1,49**        | 12,39****                                | 0,94*         | 0,83**         |

\* Достоверность влияния фактора  $P > 0,05$ .

\*\* Достоверность влияния фактора  $P < 0,05$ .

\*\*\* Достоверность влияния фактора  $P < 0,01$ .

\*\*\*\* Достоверность влияния фактора  $P < 0,001$ .

Анализ результатов оценки состояния сосновых древостоев по морфометрическим показателям (табл. 1) позволяет расположить обследованные ПП в следующий ряд в порядке убывания величин ОПС: 18, 20, 2, 1, 7. Следует отметить, что насаждения с величинами ОПС выше 45 характеризуются хорошим состоянием, соответствующим фоновому. В интервале ОПС от 36 до 45 состояние удовлетворительное, от 26 до 35 – плохое, а от 5 до 25 – очень плохое. Таким образом, наибольшее угнетение ростовых процессов аэропромышленными загрязнениями испытывают древостои на ПП 1 и 7. Сопоставление величин ПС по отдельным характеристикам показывает, что более чувствительными к действию загрязнений являются средние радиальные приросты за последние 5 – 10 лет.

Причем, все древостои, за исключением фоновой ПП 18, по радиальным приростам имеют состояние плохое и очень плохое. Этот факт свидетельствует о начавшемся в последние годы угнетении ростовых процессов на ПП 20 – 7 приведенного ряда, связанном с возрастным изменением устойчивости сосновых древостоев.

### Обсуждение

Эктомикоризы сосны продемонстрировали высокую устойчивость к загрязнению тяжелыми металлами, поскольку их успешное формирование зарегистрировано при наибольших изученных уровнях загрязнения. Установленные особенности в строении микориз на нарушенных территориях касаются в основном достаточно «тонких» признаков.

Уменьшение представленности разветвленных форм микориз характерно для окрестностей промышленных предприятий и в экспериментах с загрязняющими веществами [16, 17]. Интересно, однако, что у темнохвойных видов (ель, пихта) под влиянием выбросов СУМЗа разветвленность микориз повышается [10]. Возможно, изменение интенсивности ветвления микориз под влиянием антропогенных нагрузок происходит в той или иной степени видоспецифично.

Разнообразие микориз у сосны и темнохвойных растений [10] изменяется в изученном градиенте одинаковым образом, схожие закономерности установлены и при изучении эктомикориз сосны в условиях влияния выбросов криолитового завода [5]. Наши данные согласуются с существующей литературной информацией [6, 7, 18]. Поэтому можно предполагать, что уменьшение обилия хорошо структурированных псевдопаренхиматических и двойных чехлов при компенсаторном возрастании доли ми-

кориз с бесструктурными и плектенхиматическими чехлами в условиях промышленного пресса является более или менее общей закономерностью. Бесструктурные чехлы, скорее всего, менее активны по сравнению другими, так как они характерны для финальных этапов онтогенеза микориз [19]. Наши наблюдения, в соответствии с которыми, в микоризах с бесструктурными чехлами чаще, чем в микоризах с чехлами другого строения встречаются танниновые (отмершие) клетки и потеря тургора [20], подтверждают это предположение. Поэтому возрастание в нарушенных лесах обилия микориз с бесструктурными чехлами предположительно можно оценивать как негативную реакцию, сопряженную со снижением общего уровня физиологической (поглощающей) активности микориз.

Из рассмотренных размерных признаков техногенная динамика поперечного размера корня, входящего в состав эктомикоризного окончания, интерпретируется однозначно – как возрастание объема тканей растительного симбионта в условиях техногенного нарушения. Утолщение чехлов ясно выражено лишь в пределах групп микориз с одинаковым типом сложения чехла. Эти реакции мы рассматриваем как более или менее обусловленные действием физиологических механизмов, связанные с изменением взаимоотношений симбионтов или, по меньшей мере, с изменением объемов потоков веществ между ними. Поэтому, по нашему мнению, правомерно считать, что наращивание объема на загрязненных территориях характерно для обоих компонентов эктомикориз – и растительного и грибного. Константность же средней толщины чехлов в градиенте загрязнения является реакцией второго порядка и обусловлена маскирующим эффектом изменения частоты встречаемости микориз с чехлами разного строения в зависимости от зоны нагрузки. Утолщение грибных чехлов сосны согласуется с реакциями, наблюдаемыми у темнохвойных в данном токсическом градиенте [9, 10], и не соответствует реакциям, описанным при других типах промышленного воздействия на окружающую среду, в частности, – при газообразных воздействиях [5, 6].

При интерпретации изменения размерных признаков мы исходим, в первую очередь, из предположения определенного адаптивного характера наблюдаемых реакций. Однако предположение о том, что возрастание размеров корня и грибного чехла является следствием их повреждения токсическими агентами безусловно также может иметь место.

Сопоставление данных по изменению состояния древостоя, оцененного по морфометрическим характеристикам (ОПС) и состоянию микориз, показало, что с уменьшением расстояния до СУМЗа возрастает индекс за-

грязнения подстилки и снижается скорость ростовых процессов деревьев сосны (табл. 1). При этом наблюдается уменьшение числа подтипов микориз и индекса разнообразия Маргалефа. Индекс разнообразия Шеннона также понижается. Кроме того, изменяются некоторые анатомические характеристики микориз: уменьшается доля псевдопаренхиматических чехлов и возрастают доля бесструктурных чехлов, а также толщина чехлов плектенхиматического и бесструктурного сложения (табл. 2). Наличие связи состояния древостоев с развитием эктомикориз позволяет предположить, что помимо газообразных поллютантов ( $\text{SO}_2$ ) на рост сосны опосредованно через корневую систему оказывают отрицательное влияние также тяжелые металлы, накапливающиеся в почве.

Следует отметить, что на ПП 1 характеристики микориз не вполне соответствуют описанным тенденциям. Данная ПП расположена на границе г. Первоуральска, и лес на ней испытывает дополнительное антропогенное влияние в виде рекреационной нагрузки. В насаждении наблюдается развитая сеть тропинок, большое количество “окон” и других участков с существенной нарушенностью живого напочвенного покрова. Указанный факт, по-видимому, обуславливает установленные особенности микориз на этой ПП.

Таким образом, результаты проведенных исследований позволили установить, что загрязнение почв тяжелыми металлами в районе исследований влияет на формирование эктомикориз. Получены данные о соответствии степени угнетения роста древостоев и развития эктомикориз. Отдельные их параметры, включая разнообразие и анатомические особенности, могут быть использованы при оценке состояния корневой системы деревьев.

*На заключительном этапе работа поддержана РФФИ (01-04-96407, 01-04-96428) и Минобразованием РФ (грант Е00-6.0-119,05.01.022).*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лукина Н.В., Никонов В.В. Оптимизация питательного режима почв как фактор восстановления нарушенных лесных экосистем Севера // Лесоведение. – 1999. - №2. - С. 57-67.
2. Helmisaari H.-S., Makkonen K., Olsson M., Viksna A., Mälkönen E. Fine-root growth, mortality and heavy metal concentrations in limed and fertilized *Pinus silvestris* (L.) stands in the vicinity of a Cu-Ni smelter in SW Finland // Plant and Soil. - 1999. - V. 209. - P. 193 - 200.

3. Ohtonen R., Väre H., Markola A.M., Ohtonen A., Ahonen-Jonnarth U., Tarveinen O. A review of forest soil biology under the influence of gaseous pollutants and CO<sub>2</sub> // *Aquilo Ser. Bot.* - 1993. - V. 32. - P. 41 - 54.

4. Селиванов И.А. Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза. - М.: Наука, 1981. - 232 с.

5. Веселкин Д.В. Реакция эктомикориз сосны обыкновенной на газообразное загрязнение // *Леса Урала и хозяйство в них.* - Екатеринбург, 2002 б. - Вып. 22. - С. 160-168.

6. Шкараба Е.М., Переведенцева Л.Г., Мехоношин Л.Е. Консортивные связи лесных растений с грибами в условиях промышленного загрязнения // *Экология.* - 1991. - № 6. - С. 12 - 17.

7. Kowalski S., Wojewoda W., Bartnik C., Rupik A. Mycorrhizal species composition and infection patterns in forest plantations exposed to different levels of industrial pollution // *Ecol. and Appl. Aspects of Ecto- and Endomycorrhizal Assoc.* - Praha, 1989. - Pt. 1. - P. 249 - 256.

8. Reich P.B., Schoettle A.W., Stroo H.F., Troiano J., Amundson R.G. Effects of O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> and acidic rain on mycorrhizal infection in northern red oak seedlings // *Can. J. Bot.* - 1985. - V. 63. - № 11. - P. 2049 - 2055.

9. Веселкин Д.В. Реакция эктомикориз на техногенное воздействие: анатомический уровень // *Развитие идей академика С.С. Шварца в современной экологии.* - Екатеринбург, 1999. - С. 11 - 18.

10. Веселкин Д.В. Исследования микоризных ассоциаций в зоне стационара (на примере эктомикориз) // *Экологическая токсикология: Учеб. пособие.* - Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2001 а. - С. 38 - 46.

11. Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений экосистем (локальный уровень). - Екатеринбург: Наука, 1994. - 280 с.

12. Веселкин Д.В. Распределение тонких корней хвойных деревьев по почвенному профилю в условиях загрязнения выбросами медеплавильного производства // *Экология.* 2002 а. - № 4. - С. 250-253.

13. Юсупов И.А., Луганский Н.А., Залесов С.В. Состояние искусственных молодняков в условиях аэропромвыбросов. - Екатеринбург, 1999. - 185 с.

14. Калинин В.А., и др. Модель оценки состояния пораженных древостоев // *Экология,* 1991. - №3. - С. 21-28.

15. Shavnin S.A., Fomin V.V., Marina N.W. Application of the generalized state index determination to ecological monitoring of forest in polluted ar-

eas // Measurements and Modeling in Environmental Pollution. Southampton UK and Boston USA: Computational Mechanics Publications, 1997. - P. 399-407.

16. 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.

17. Termorshuizen A.J., Schaffers A.P. The relation in the field between fruitbodies of mycorrhizal fungi and their mycorrhizas // Ecol. and Appl. Aspects of Ecto- and Endomycorrhizal Assoc. Praha, 1989. Pt. 1. P. 509 - 512.

18. Markkola A.M., Ohtonen R. Mycorrhizal fungi and biological activity of humus layer in polluted pine forests in the surroundings of Oulu // Karstenia. 1988. Vol. 28, N 1. P. 45 - 47.

19. Еропкин К.И. Мицелиальные чехлы и их взаимосвязь с формами микоризного окончания хвойных // Микориза и другие формы консортивных отношений в природе. - Пермь, 1977. - С. 78 - 81.

20. Веселкин Д. В. Структура эктомикориз сосны обыкновенной в связи с конкуренцией древостоя // Генетические и экологические исследования в лесных экосистемах. - Екатеринбург: УрО РАН, 2001 б. - С. 113-126.

УДК 630.674.6.02+674.09

Е.В. Гаева

(Уральский государственный лесотехнический университет)

## **ФОРМАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЦЕХА ПО ВЫРАБОТКЕ ПИЛОПРОДУКЦИИ ИЗ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ**

*Проведена формализация технологического процесса лесобработки валяющего цеха для условий лесохозяйственных и лесопромышленных предприятий, выбран математический аппарат для обоснования технологических параметров цеха.*

Повышение эффективности работы лесохозяйственных и лесопромышленных предприятий в условиях малообъемных лесозаготовок возможно за счет дальнейшего развития «малого» лесопиления. Для эффективной работы таких цехов необходима разработка типажа технологических схем цехов, области их эффективного применения, обоснования техно-