

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 SO₂ 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 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 Cu в подстилке выше фонового в 26 раз, Pb - в 11 раз, 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
Местоположение ПП					
Расстояние от СУМЗа, км	20.00	20.00	12.00	8.50	4.00
Румб	запад	запад	север	запад	север
Уровень нагрузки					
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
Параметры разнообразия						
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
Общие размерные параметры						
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
Размерные параметры микориз с плектенхиматическими чехлами						
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
Размерные параметры микориз с псевдопаренхиматическими чехлами						
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
Размерные параметры микориз с бесструктурными чехлами						
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 (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 CO₂ // *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 O₃, SO₂ 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-